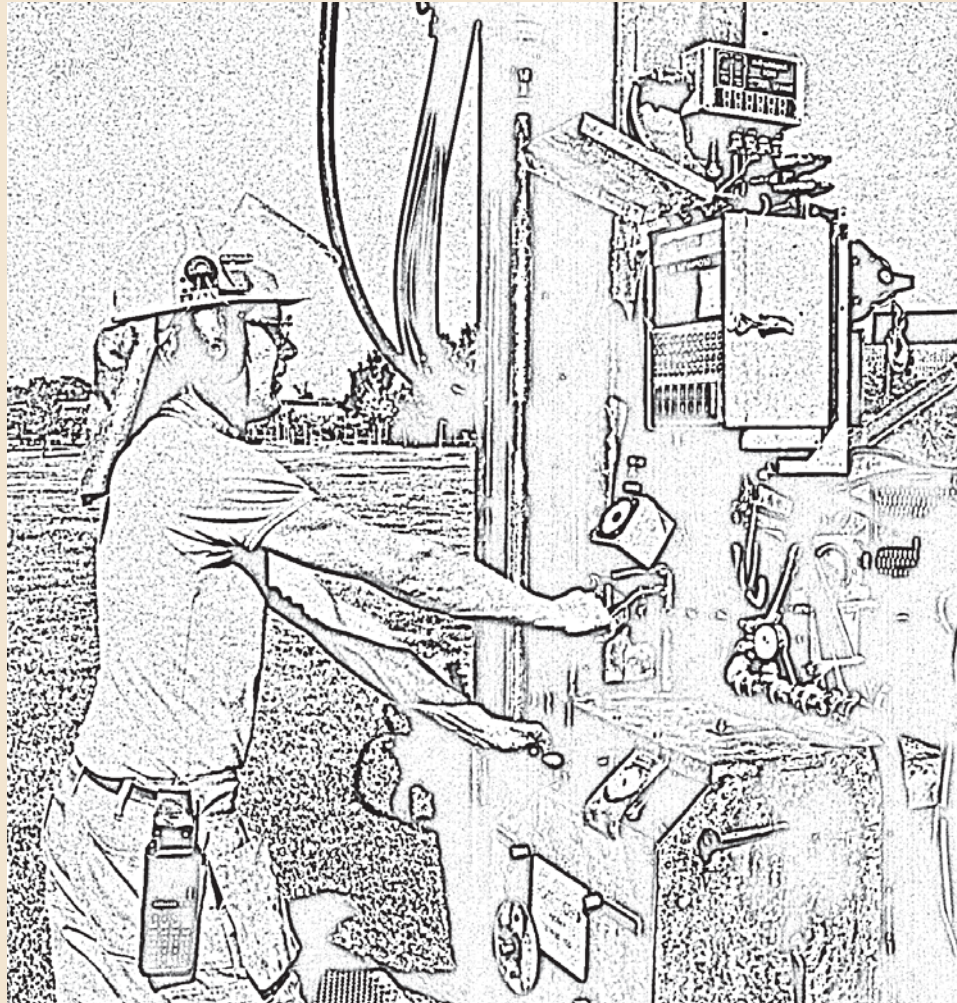




STATENS GEOTEKNISKA INSTITUT
SWEDISH GEOTECHNICAL INSTITUTE



Geotekniska undersökningar i fält

ULF BERGDAHL

Information 2

LINKÖPING 1984

Geotekniska undersökningar i fält

Denna informationsskrift har tillkommit som ett led i moderniseringen av handboken BYGG och utgör det fullständiga underlag som framtogs för detta ändamål. På grund av syftet med skriften har innehållet begränsats till *undersöknings- och kontrollmetoder i jord*.

Skriften utgör en sammanställning av beskrivningar som finns i många tidigare publikationer, bl a föregående upplaga av handboken BYGG där avsnittet ”Geotekniska utredningar och undersökningar” författats av Allan Ekström och Bo Orre.

I informationsskriften ges en kortfattad beskrivning av förekommande metoder, deras användning samt något om erfarenheter knutna till metoderna. För den som vill ha ytterligare information om någon metod eller utrustning ges referenser till aktuella publikationer.

Linköping i april 1984

Ulf Bergdahl

Information	Statens geotekniska institut (SGI) 581 93 Linköping
Beställning	SGI, Informationstjänsten Tel: 013-20 18 04 Fax: 013-20 19 09 E-post: info@swedgeo.se Internet: www.swedgeo.se
ISSN	0281-7578
ISRN	SGI-INF--84/2--SE

Innehållsförteckning

Kap. 1			
Allmänt	4		
● FÄLTUNDERSÖKNINGENS SYFTE			
● BEGREPP			
Kap. 2			
Sonderingsmetoder	5		
● ALLMÄNT			
● STATISKA SONDERINGSMETODER			
— Viktsondering (Vi, Vim)			
— Totaltrycksondering (TrT)			
— Spetstrycksondering (TrS)			
● DYNAMISKA SONDERINGSMETODER			
— Hejarsondering (HfA)			
— SPT-sondering (SPT)			
— Motorslagsondering (Slb)			
— Jord-bergsondering (Jb)			
● KOMBINATION AV SONDERINGS- METODER			
● PORTRYCKSONDERING (TrP)			
● UTVÄRDERING AV SONDERINGS- RESULTAT			
Kap. 3			
Provtagningsmetoder	21		
● ALLMÄNT			
● OSTÖRD PROVTAGNING			
— Kolvprovtagning			
— Folieprovtagning			
— Torvprovtagning			
● STÖRD PROVTAGNING			
— Provgropsgrävning			
— Provtagning med spets			
— SPT-provtagning			
— Skruvprovtagning			
— Tubkärnprovtagning			
— Provtagning med moränprovtagare			
— Vibrationsprovtagning			
● OMRÖRD PROVTAGNING			
— Spadprovtagning			
— Jalusiprovtagning			
— Sektionsprovtagning			
— Kannprovtagning			
● FODERRÖRSBORRNING MED PROV- TAGNING			
— Rotationsborrning			
— Stötborrning			
● HANTERING OCH TRANSPORT AV JORDPROVER			
Kap. 4			
In situ-provning	32		
● ALLMÄNT			
● VINGPROVNING			
● PRESSOMETERPROVNING			
● PLATTFÖRSÖK			
— Skruvplatteförsök			
— Ytliga plattförsök			
— Fallviktsförsök			
Kap. 5			
Grundvattenmätningar	39		
● ALLMÄNT			
● VATTENSTÅNDSOBSERVATIONER			
● MÄTNING I ÖPPNA RÖR			
● MÄTNING MED SLUTNA SYSTEM			
● SPECIELLA GRUNDVATTENUNDER- SÖKNINGAR			
Kap. 6			
Redovisning av fältundersök- ningsresultat	44		
Kap. 7			
Metoder för kontroll och uppföljning	45		
● SYFTE			
● BEGREPP			
● MÄTNING AV JORD- OCH BYGGNADSRÖRELSER			
— Allmänt			
— Mätning av vertikala rörelser			
— Mätning av horisontalrörelser och lutningsändringar			
● MÄTNING AV SPÄNNINGAR I JORD			
● TEMPERATURMÄTNING I JORD			
● PACKNINGSKONTROLL			
● VIBRATIONSMÄTNING			
Bilagor	61		

FÄLTUNDERSÖKNINGENS SYFTE

Syftet med en geoteknisk undersökning i allmänhet är normalt att klarlägga jord-, berg- och grundvattenförhållandena på en plats eller i ett område samt bestämma egenskaperna hos jord, berg och grundvatten. Dessutom kan ingå att klarlägga grundläggningssätt för byggnader eller stabilitet hos befintliga konstruktioner, fyllningar eller slänter. Primärt åsyftas i denna framställning undersökningar för normal bebyggelse på naturlig mark. Genom undersökningar erhålls underlag för bedömning av markanvändning t ex med hänsyn till jord, berg och grundvatten samt lämplig placering av anläggningar eller andra byggnadsverk. Vidare erhålls underlag för bedömning av t ex grundläggningssätt, grundförstärkningar m m så att kostnads kalkyler kan upprättas. Vid detaljprojektering skall den geotekniska undersökningen också ge underlag för dimensionering av grundläggningar och grundförstärkningar samt stabilitetsberäkningar. För utförandet erhålls också underlag för dimensionering av erforderliga förstärkningsåtgärder, länshållnings- och tjälproblem m m. Eftersom undersökningarna skall ligga till grund för en serie olika ställningstaganden och dimensioneringar utförs de ofta i etapper med en successivt ökad detaljeringsgrad.

Undersökningarna omfattar normalt till en början studier av befintliga kartor och flygbilder och eventuellt tidigare utförda undersökningar. Härefter utförs mätning och undersökning i fält med ett antal olika metoder samt tas jordprover för närmare undersökningar på laboratorium.

Fältundersökningarna inleds normalt med någon form av sondering där man erhåller information om jordlagrens relativa fasthet och djupet till "fast botten" eller berg. Med ledning av sonderingsresultaten väljs sedan metoder för den fortsatta undersökningen och utrustning för provtagning, grundvattenmätningar m m. Valet av undersökningsmetod och omfattningen av undersökningarna bestäms av en mängd olika faktorer: jordart, grundvattenförhållanden, syftet med undersökningen, krav på noggrannhet i dimensionering och beräkningar. En checklista över de arbetsuppgifter som geoteknikern bör ha vid undersökningar för olika ändamål och i olika skeden finns i SKIFS Checklista 18/73 (1).

BEGREPP

Flertalet av de begrepp och uttryck som används inom området fältundersökningsmetoder återfinns i TNC geotekniska ordlista (2).

Sondering innebär neddrivning av en spetsförsedd stång i jorden varvid motståndet mot neddrivning registreras. Normalt protokollförs motståndet direkt eller arbetet för varje 0,2 m sjunkning hos sonden i slag/0,2 m, halvvarv/0,2 m eller motsvarande. Man brukar skilja på två typer av sondering:

- statisk sondering: sonden drivs ned huvudsakligen genom belastning av sonden t ex totaltrycksond och spetstrycksond. Något oegentligt hänförs även viktsond till statistiska metoder.
- dynamisk sondering: sonden drivs ned medelst slag av hejare, pneumatisk eller hydraulisk bormaskin t ex hejarborm, motorslagssond eller jordbergsond.

Provtagning avser här upptagning av jordprover för enbart klassificering eller för närmare undersökningar på laboratorium. Man skiljer på tre olika kvaliteter på proverna:

- ostörda prover där jorden i huvudsak har kvar struktur och mekaniska egenskaper
- störda prover där jorden i huvudsak har kvar sin struktur men de mekaniska egenskaperna förändrats
- omrörda prover där såväl struktur som mekaniska egenskaper förändrats.

In situ-provning innebär här att man direkt i jorden på ett eller annat sätt bestämmer dess egenskaper t ex hållfasthet eller deformationsegenskaper.

Med *grundvattenmätningar* avses här bestämning av trycket eller trycknivån hos grundvattnet (porvattnet) i jorden på visst djup under markytan.

Sonderingsmetoder

ALLMÄNT

Sondering används för att klarlägga jordlagrens mäktighet och relativa fasthet. Normalt har en tyngre sonderingsmetod större nedträngningsförmåga än en lättare men ger samtidigt mindre möjligheter att urskilja fasthetsvariationer i lös jord. Val av lämplig sonderingsmetod baseras på följande förväntade förhållanden på undersökningsplatsen:

- jordlagerföljd
- ändamålet med undersökningen
- undersökningens omfattning
- framkomlighet i terrängen.

Ofta är det ej tillräckligt att utföra en typ av sondering utan fler undersökningar görs vid samma borrhål. Alternativt kan kombinationer av metoder förekomma, t ex avslutas ofta viktsondering med motorslagssondering.

Traditionellt har viktsond och totaltrycksond använts för att klarlägga jordlagerföljdens relativa fasthet i lösare jord (lera, silt, sand och grus) medan t ex motorslagsond eller hejarsond används för att bedöma fastheten i fastare jord såsom grus och morän. Hejarsond har också använts för att bestämma djupet till "fast botten" för spetsbärande pålar. Viktsonden har sedan länge varit den enda referensmetoden enligt såväl Byggnorm som Bronorm för bedömning av friktionsjords relativa lagringstäthet. Jfr nedan under "utvärdering av sonderingsresultat".

Utomlands har man sedan länge använt både statiska och dynamiska sonderingsmetoder för att bestämma t ex bärförmåga och sättningar för pålar och grundplattor (3). Man kan i Sverige vänta sig en ökad användning av t ex spetstrycks- och hejarsond för bestämning av jords egenskaper samt för dimensionering av pålar och plattor och därtill hörande sättningsberäkningar.

STATISKA SONDERINGSMETODER

Viktsonderingsmetoden (V_i , V_{im}) utvecklades i Sverige omkring 1915 av SJ:s geotekniska kommission främst i syfte att undersöka skredriskerna för järnvägsbankar. Svenska geotekniska föreningen (SGF) har utvecklat och antagit en geoteknisk standard för viktsondering (4). Denna omfattar såväl utrustning som utförande och redovisning. Redovisningen i detalj framgår av SGF:s Beteckningsblad 1-4. Viktsonderingen torde vara Sveriges mest använda sonderingsmetod. Den kommer även i fortsättningen att ha stor betydelse beroende på sin lätthanterlighet och låga kostnad.

Viktsonden består i sin enklaste form av en skruvformad spets \varnothing 25 mm, en viktsats om 1 st 5 kg, 2 st 10 kg och 3 st 25 kg, ett antal skarvstänger \varnothing 22 mm samt en svängel, Fig. 1. Den används som statisk sond i lös jord där sonderingsmotståndet är mindre än 1 kN (motsvarande viktbelastningen 100

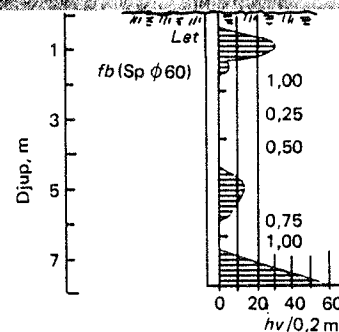


Fig. 1 Manuell viktsondering med princip för resultatredovisning.

kg). När sonden ej sjunker för denna belastning vrids den, varvid antal halvvarv för viss sjunkning (normalt 0,2 m) protokollförs.

Numera används maskinella utrustningar för viktsondering t ex bensindriven maskin typ Borros eller bandgående hydrauliska utrustningar typ Geotech, Fig. 2. På dessa utrustningar mäts belastningen på sonden på mekanisk eller hydraulisk väg.

Sonderingen avslutas på visst djup när man uppnått ett visst sonderingsmotstånd eller när det till följd av hinder inte går att driva sonden djupare, "fast botten" för viktsond har uppnåtts. Vilket avslutningskriterium som skall gälla fastställs i varje särskilt fall beroende bl a på jordförhållanden, ändamål med undersökningen etc. Jfr i övrigt rekommendationer i SGF:s "Anvisningar för upphandling av geotekniska utredningar" (6).

Vid sondering till "fast botten", dvs maximalt nedträngningsdjup för sonden, avslutas sonderingen genom slagning med slägga eller viktstycken. Detta för att kontrollera att stoppet inte beror av en mindre sten eller dylikt. Alternativt kan viktsonderingen avslutas med motorslagssondering (se nedan).

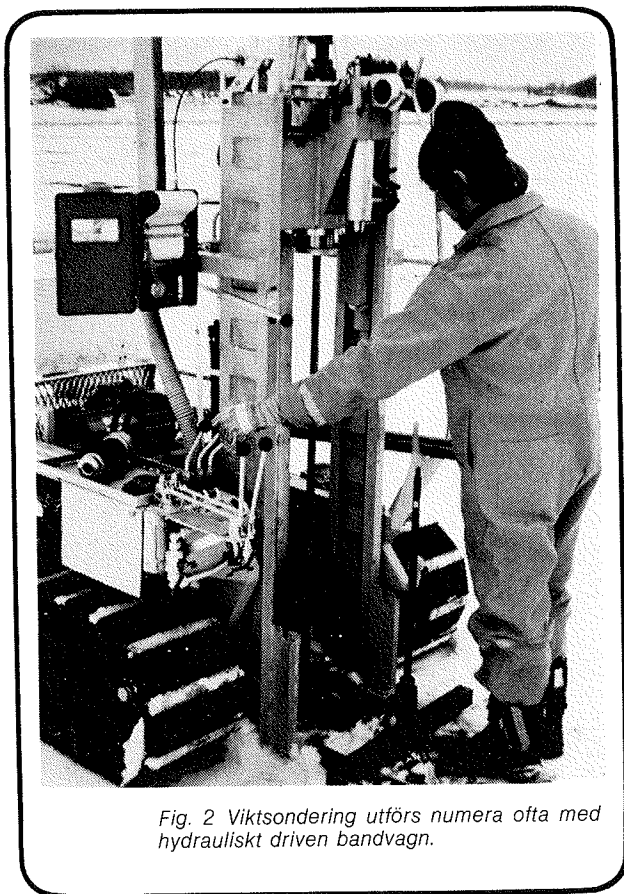


Fig. 2 Viktsondering utförs numera ofta med hydrauliskt driven bandvagn.

När man skall sondera genom fyllning eller tjockare torrskorpa erfordras normalt förborring. Detta beror på att mantelfriktionen längs stängerna kan bli så stor att det är svårt att urskilja variationer i jordens relativa fasthet därunder.

Vid maskinell viktsondering skall man observera att sonderingsmotståndet, mätt i halvvarv/0,2 m vid vridning av sonden, ofta blir större än vid manuell rotation av sondstängerna, Bergdahl (1969) (7). På grund av dessa olikheter bör man där det kan ha betydelse utföra jämförelse med manuell viktsondering, t ex vid grundläggning av konstruktioner i friktionsjord där sonderingsmotståndet är lägre än ca 20 halvvarv/0,2 m. I den nysnämnda skriften redovisas också betydelsen av att ej använda slitna spetsar. Acceptabel förslitning anges i SGF:s Standard.

Även sensitiviteten i lera har stor betydelse för sonderingsmotståndet. Möller och Bergdahl (1982) (8) redovisar resultat av två viktsonderingar i två skilda leror med ungefär samma skjuvhållfasthet där viktsonderingsmotståndet är helt olika, Fig. 3. Sensitiviteten gör det svårt att få några generella samband mellan lerors skjuvhållfasthet och viktsonderingsmotstånd.

Sin största användning har viktsonden haft när det gäller att klarlägga jordlagerföljden i våra lerfyllda dalgångar. Exempel på en sådan undersökning visas i Fig. 4.

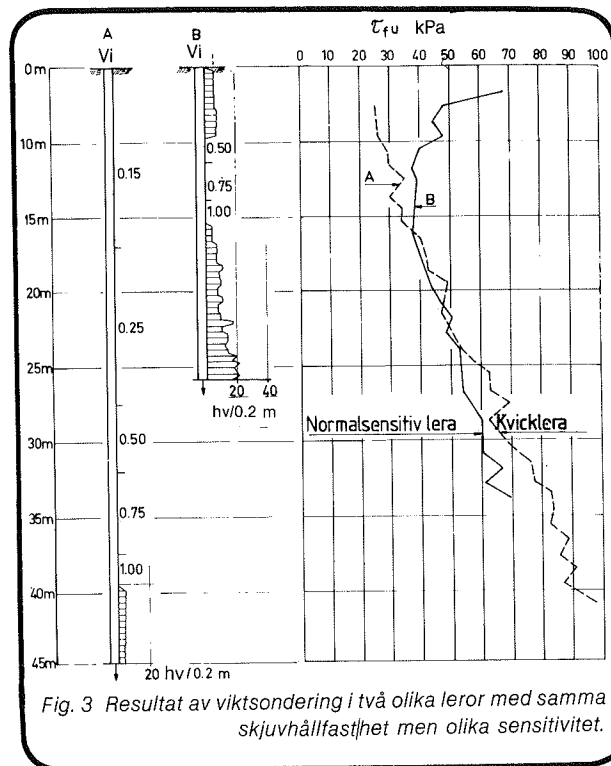


Fig. 3 Resultat av viktsondering i två olika leror med samma skjuvhållfasthet men olika sensitivitet.

Vid utvärderingen av sonderingsdiagrammen används såväl sonderingsmotståndets storlek som variationerna i motståndet. Sålunda indikerar ett lågt (< 10 halvvarv/0,2 m) och nära konstant sonderingsmotstånd ofta lös till medelfast lera men kan också indikera lösa silt- och sandlager. Högre men nära konstant sonderingsmotstånd (10-30 halvvarv/0,2 m) erhålls ofta i silt och finsand. I sandig till grusig jord ökar variationerna i sonderingsmotståndet successivt med ökad kornstorlek. Variationerna i sonderingsmotstånd kan också bero på en mycket växlande skiktning i jorden. Eftersom det ej går att ställa upp några allmängiltiga regler för bedömning av jordlagerföljd ur viktsonderingsresultat måste alltid en jordlagerföljdsbestämning med provtagning göras. Härvid används viktsonderingsresultaten till att välja lämpliga provtagningspunkter.

Vid utvärdering av viktsonderingsresultat från siltig sand och grus med viss stenhalt skall man beakta att höga sonderingsmotstånd ej alltid motsvaras av bättre hållfasthets- och deformationsegenskaper.

För ytterligare information om viktsondering, inverkan av faktorer, utvärderingsmöjligheter och F_cU -behov hänvisas till (9), (10) och (11).

Totaltrycksondering (TrT) innebär att man med en nära konstant hastighet pressar ned en sond i jorden och därvid kontinuerligt registrerar erforderlig neddrivningskraft. Intermittent kan friktionen på sondstängarna registreras genom en glappkoppling i

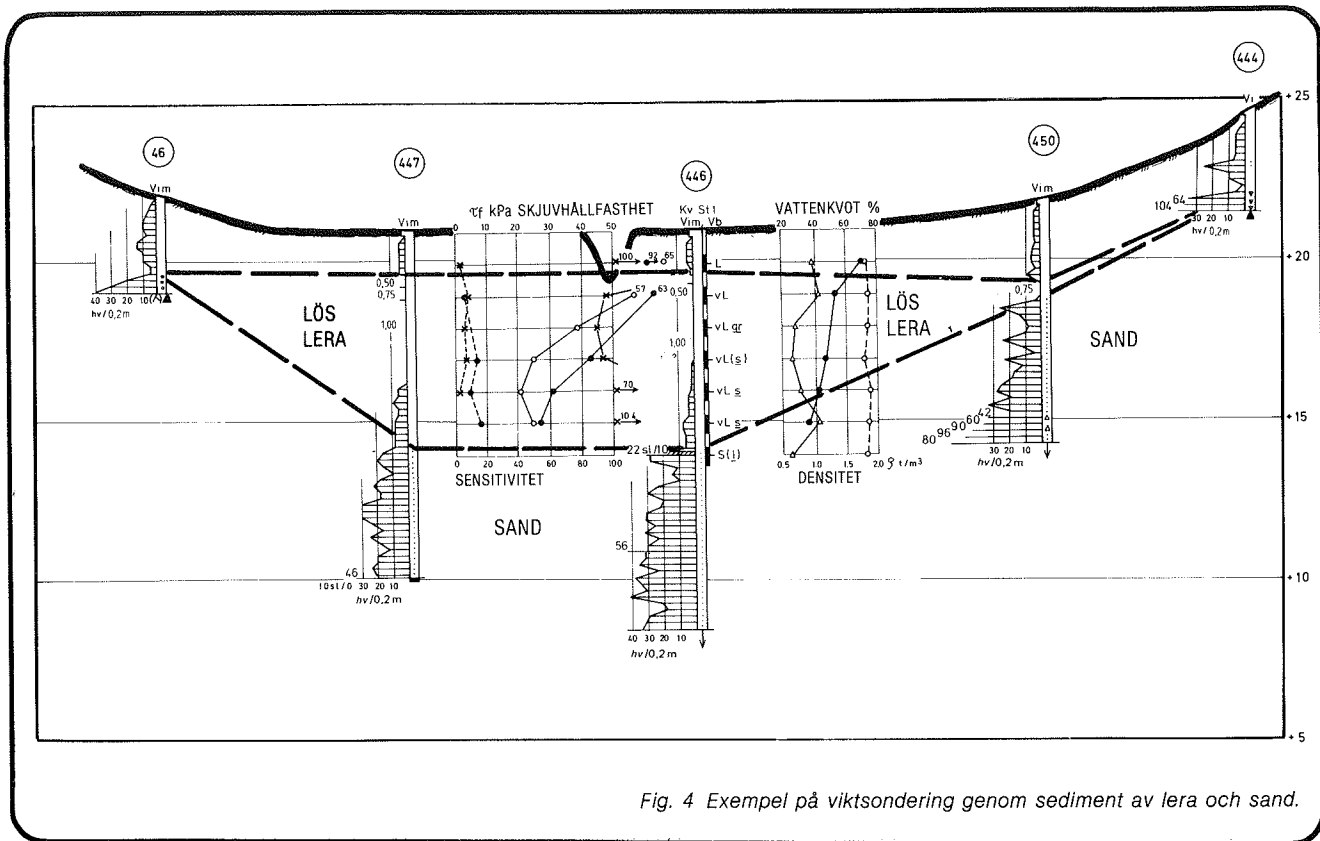


Fig. 4 Exempel på viktsondering genom sediment av lera och sand.

spetsen. Någon standard för denna sonderingsmetod finns ännu inte men arbete pågår inom SGF:s Sonderingskommitté. Den vanligaste utrustningen har utvecklats av Geotech AB (tidigare Nilcon AB), jfr även (11).

Sonden utgörs av en pyramidformad spets med glappkoppling med 10 cm² tvärsnittsarea (Fig. 5) som neddrives med stänger \varnothing 22 eller \varnothing 25 mm. Eftersom denna spets med glappkoppling är dyr samt att det varit svårt att få glappet att fungera i vissa jordar har man också ofta använt sig av fasta viktsondspetsar. Härvid förlorar man dock möjligheten att direkt skilja mellan spets- och mantelmotstånd.

Neddrivningen av sonden kan ske manuellt med ett kedjedrivet spel (11). Numera pressas sonden normalt ned på hydraulisk väg med borrhjull monterade på bandvagnar, jeepar eller traktorer, Fig. 6.

Registreringen av neddrivningskraften, som normalt mäts med en fjäder, sker automatiskt på en mekanisk skrivare, Fig. 7. I senare utföranden för större neddrivningskrafter mäts neddrivningsmotståndet hydrauliskt.

Sonderingsutrustningen förekommer i två olika utföranden där den maximalt mätbara kraften är 10 kN respektive 20 kN. I sonderingsdiagrammen anges motståndet normalt i MPa (MN/m²), dvs neddrivningskraften dividerad med spetsens tvärsnittsarea på 10 cm².

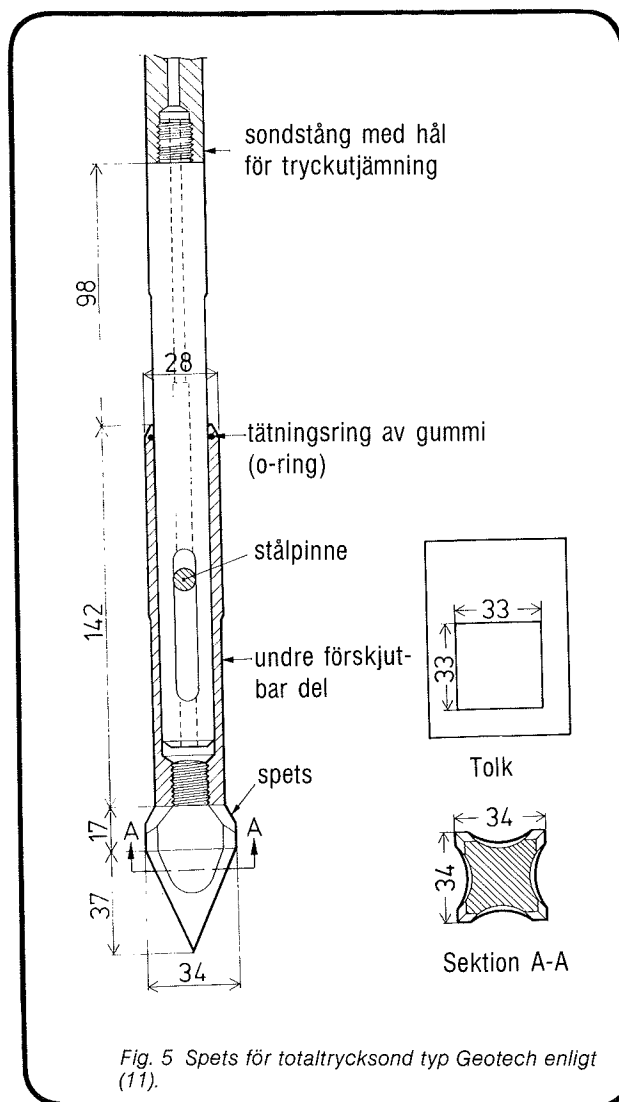


Fig. 5 Spets för totaltrycksond typ Geotech enligt (11).

Under sonderingen stoppas neddrivningen intermitent (varje 1 à 2 m) och sonden lyfts 50 eller 100 mm, beroende på glappets storlek. Därefter nedpressas sonden åter till full anliggning mot spetsen varvid friktionsmotståndet på sondstången kan avläsas. Eftersom glappet är så litet kan det vara svårt att i efterhand se måtutslaget för mantelfriktionen. Den som utför sonderingen måste därför noga följa nålen på skrivaren och eventuellt med en extra markering förstärka skrivarens registrering. Skillnaden mellan det uppmätta totala neddrivningsmotståndet och mantelmotståndet utgör spetsmotståndet i jorden. Det sålunda uppmätta spetsmotståndet kan skilja sig från vad som mäts med den standardiserade spetstrycksonden, Bergdahl (1975) (12).

När sonden inte kan neddrivas ytterligare med enbart tryck fortsätts sonderingen genom att sonden roteras under samtidig tryckbelastning. Tack vare de skarpa kanterna på sondspetsen kan sonden "fräsa" sig ned genom även mycket fast jord. Dock inte genom stenig jord. För att skilja denna del av sonderingen från den rent statistiska skrafferas diagrammet där rotation utförts.

Totaltrycksondering används liksom viktsondering huvudsakligen för att få en bild av jordlagerföljden i främst lösare jord där sonden kan drivas ned med enbart tryck. Totaltrycksondering är ofta snabbare än viktsondering och kan dessutom ge en mer detaljerad bild av jordlagerföljden än viktsondering.

Ofta kan med ledning av sonderingskurvas form och motståndets storlek en preliminär bedömning göras av jordlagerföljden (13), (14). En jämn kurva vid lågt motstånd anger ofta lera, medan silt och sand ofta ger större motstånd med vissa "störvåiga" variationer. Grusig och stenig jord ger ofta stora och plötsliga förändringar i sonderingsmotståndet medan morän ger mycket stort motstånd och stora variationer. Normalt kan morän endast genomborras med samtidig rotation, jfr Fig. 8. När sonden roteras under samtidig tryckbelastning kan ingen utvärdering av jordlagerföljden göras med utgångspunkt från kurvformen. Vidare kan det vara svårt att i skiktad jord bedöma jordlagerföljden eftersom skikten kan vara så tunna att man ej i respektive skikt får någon karaktäristisk form på kurvan. Liksom vid all jordlagerföljdsbestämning måste således resultatet kontrolleras åtminstone i någon punkt med provtagning.

Spetstrycksondering (TrS) har under senare år kommit till allt större användning även i vårt land. Med denna metod mäts sonderingsmotståndet mot spetsen direkt genom kraftgivare monterade i spetsen. Spetsmotståndet, som betecknas q_c , anges normalt i enheten MPa, dvs total spetskraft dividerad med spetsens tvärsnittsarea, 10 cm². Metoden har antagits som svensk geoteknisk standard (4). Sondens består i princip av en konisk spets med 10 cm² tvärsnittsarea som förlängs uppåt med ett rör

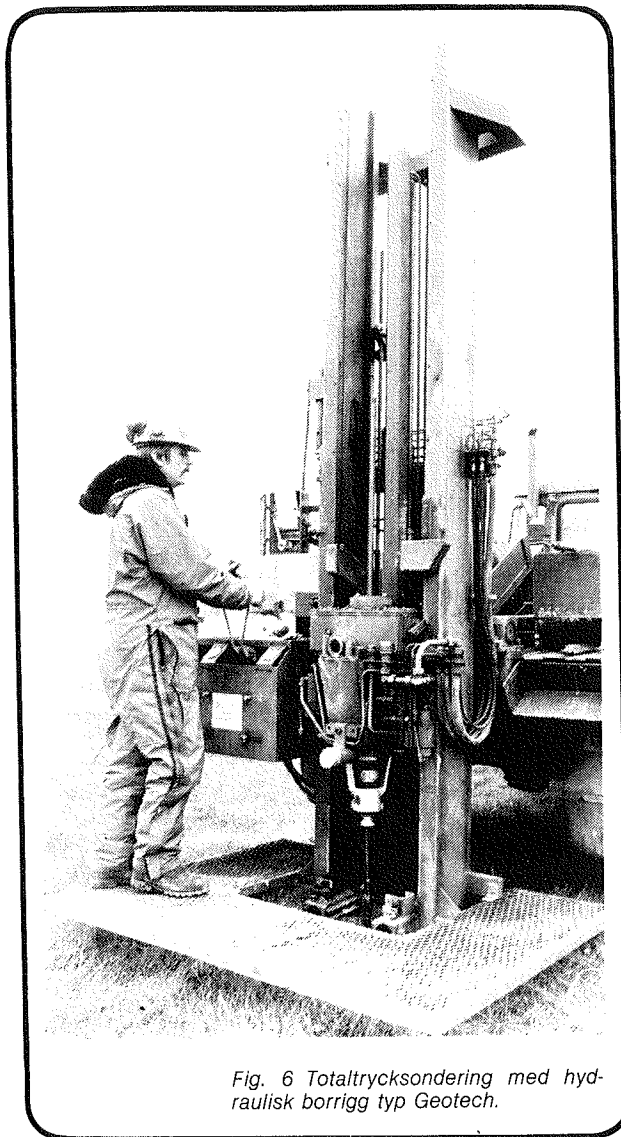


Fig. 6 Totaltrycksondering med hydraulisk borrhög typ Geotech.

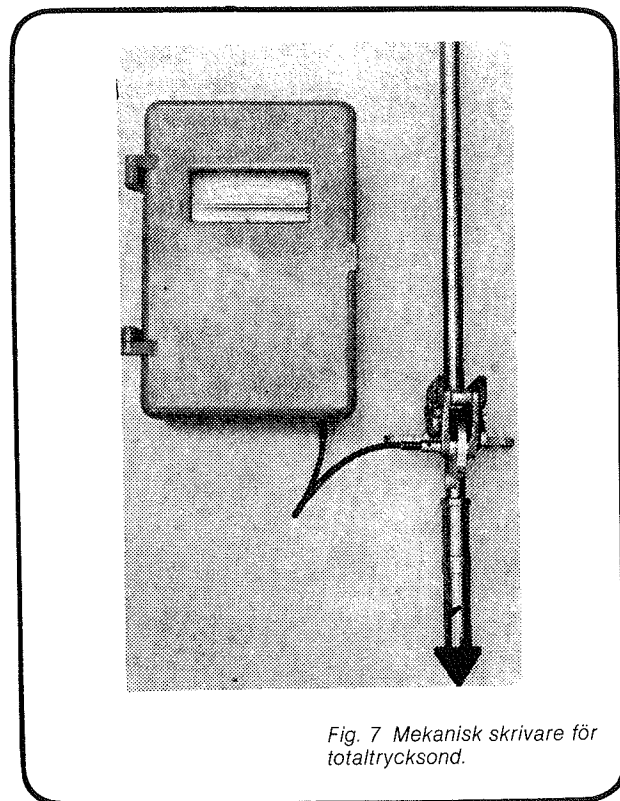
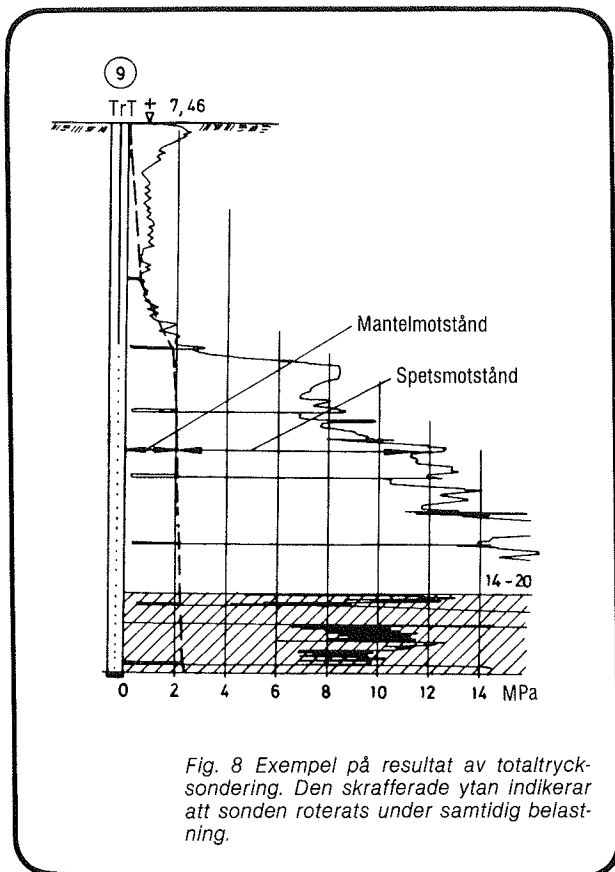


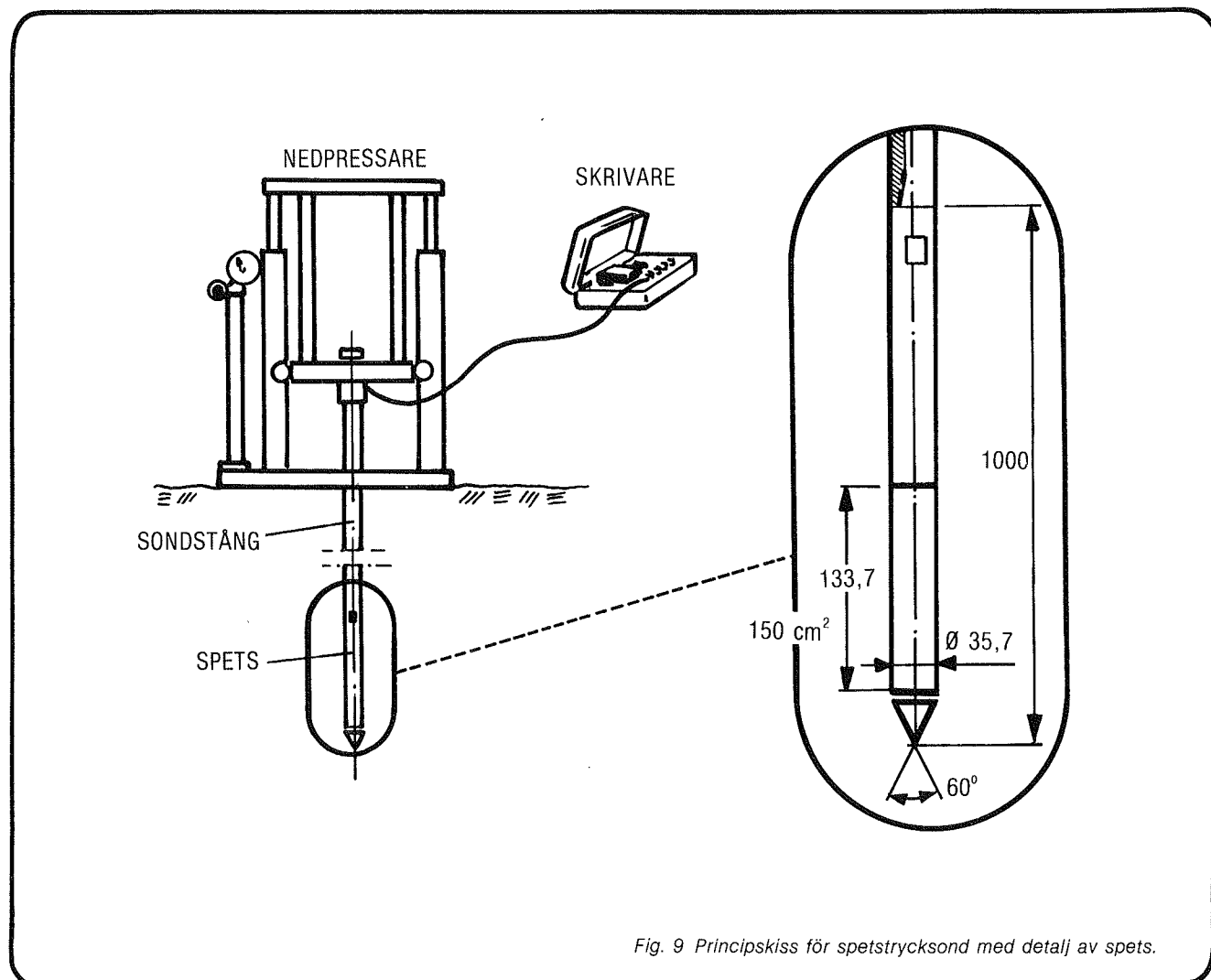
Fig. 7 Mekanisk skrivare för totaltrycksond.



av samma dimension, $\varnothing 35,7$ mm, intill minst 1,0 m från konens bas. Alldeles ovanför konen kan en s k friktionshylsa med 150 cm^2 för mätning av den lokala mantelfriktionen appliceras, Fig. 9. Under sonderingen neddrives sonden med konstant hastighet $0,02 \pm 0,005 \text{ m/s}$ med någon form av nedpressare.

Kraften i spetsen och i förekommande fall på friktionshylsan mäts och registreras kontinuerligt. Två olika system används. På BORROS utrustning mäts spetskraft och lokal mantelfriktion med hjälp av trådtöjningsgivare monterade i spetsen. Signalerna förs sedan via kabel i sondstängerna till en skrivare på markytan. I GEOTECHS modell mäts krafterna med svängande strängprincipen och signalerna förs på akustisk väg i sondstängerna till en mikrofon som fästs på stängens över markytan och från denna vidare till en skrivare.

Spetstrycksondering är den sonderingsmetod som kan ge den bästa informationen om jordlagerföljd och jordens egenskaper. I Sverige har den hittills använts mest för att få fram en mer detaljerad bild av jordlagerföljden, speciellt om man vill finna skikt i en lagerföljd. Utomlands används den i betydligt större utsträckning för utvärdering av jords egenskaper eller direkt för beräkning av pålars och plat-



tors bärförmåga och sättning (3). Även i Sverige har den använts för detta ändamål men hittills bara för forskningsändamål. Man bör dock fortsättningsvis räkna med en ökad användning av spetstrycksonden. Jfr även nedan "Utvärdering av sonderingsresultat".

Mantelfriktionen som mäts på friktionshylsan vid spetsen har främst använts för att bestämma den så kallade friktionskvoten R_f mellan den lokala mantelfriktionen f_s i MPa och spetsmotståndet q_c i MPa. Normalt anges denna i procent och kvotens storlek indikerar jordtypen vid spetsen (3).

Med en ökad användning av spetstrycksondering för jordparameterbestämning där spetsmotståndets absolutvärde anses motsvara en viss jordegenskap ökar kravet på mätnoggrannhet, vilket framgår av den rekommenderade standarden.

Exempel på ett spetstrycksonderingsdiagram i siltig sand och i sand visas i Fig. 10. Såväl spetsmotstånd som lokal mantelfriktion redovisas i kurvan.

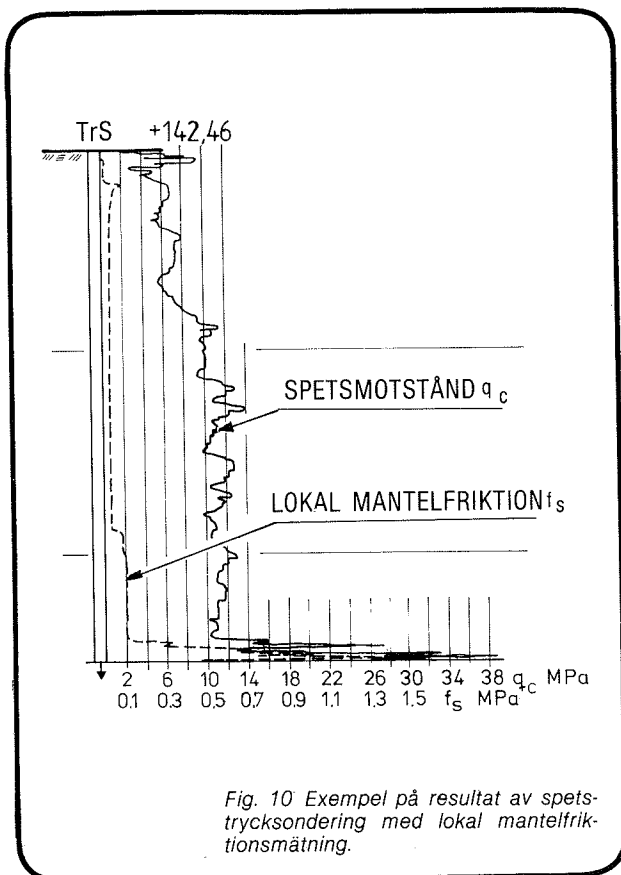


Fig. 10 Exempel på resultat av spetstrycksondering med lokal mantelfriktionsmätning.

För att inte i onödan förstöra information om spetsmotståndets variationer i jorden och därmed försvåra utvärderingen av resultaten bör man vid redovisningen av dessa på ritning överföra den erhållna sonderingskurvan direkt på fotografisk väg.

Till de statiska sonderna kan också räknas de olika former av sticksond som används för inspektion av jordförhållanden. Jfr t ex (42).

DYNAMISKA SONDERINGSMETODER

Nedan beskrivs de dynamiska sonderingsmetoder-na hejarsondering, SPT-försök, motorslagssondering samt jord-bergsondering.

Hejarsonderingsmetoden (HfA) utvecklades i Sverige under 1940-talet sedan det visat sig att viktsonden hade för liten nedträngningsförmåga i grövre eller fastare jord. SGF:s standard för hejarsondering innehåller två varianter benämnda HfA och DPB varav den förra utgör referensmetod och den senare överensstämmer med europeisk standard (4). Metoderna skiljer sig beträffande fallhöjd, spetsens tvärsnittsarea och spetsens mantellängd. Nedan behandlas endast HfA-metoden.

Sonden består i princip av en konad 90 mm lång sondspets med \varnothing 45 mm diameter, som drivs ned med \varnothing 32 mm stänger. Neddrivningen utförs med en hejarbock med en fritt fallande, 63,5 kg tung hejare. Fallhöjden skall vara 0,50 m och slaget skall överföras till stängerna av en fast slagdyna med mellanlägg, Fig. 11. Under neddrivningen bestäms sonderingsmotståndet i antal slag per 0,2 m sjunkning hos sonden. För att minska mantelfriktionen på sondstängerna och förvissa sig om att sonden går rakt skall den vridas två varv för varje 0,2 m sjunkning. Omfattande undersökningar av hejarsonden har gjorts av bl a Bergdahl och Dahlberg (1973) (15). Av denna framgår bl a att stötvågen i stängerna har en maximal styrka av 50 à 60 kN vilket vid slagning mot mycket fast underlag kan ge ett spetstryck på 50 MPa. Detta kan jämföras med vad som erhålls vid normal påslagning med fallhejare, 25 MPa för betongpålar och 150 MPa vid stålplålar.

För närvarande finns i bruk två olika slags hejarbockar, dels en större trebent bock där man har ett särskilt lyfthuvud som lyfter och släpper hejaren, dels en mindre automatiskt slående hejarbock, Fig. 12. Båda hejarbockarna kan användas för såväl HfA-sondering som DPB- och SPT-försök.

Redovisningen av hejarsonderingsresultaten sker enligt SGF:s Beteckningsblad 4, där motståndet i slag redovisas för varje skikt om 0,2 m. Här skall man tänka på att välja rätt skala; 20 slag per 10 mm om man är mest intresserad av fasthetsvariationerna i den lösare jorden eller 100 slag per 10 mm om man är mest intresserad av fastheten nära stopp.

En nackdel med hejarsonden har varit att man ej kunnat separera spets- och mantelmotstånd utan enbart erhållit ett totalt neddrivningsmotstånd i slag/0,2 m. För att undvika denna nackdel föreslås i (15) att man i samband med vridningen av stängerna mäter det erforderliga vridmomentet, M_v i Nm. Härur kan teoretiskt det, för att övervinna mantelfriktionen på stängerna, erforderliga antalet slag/0,2 m beräknas enligt uttrycket: $M_{\text{mantel}} = 0,04 \cdot M_v$.

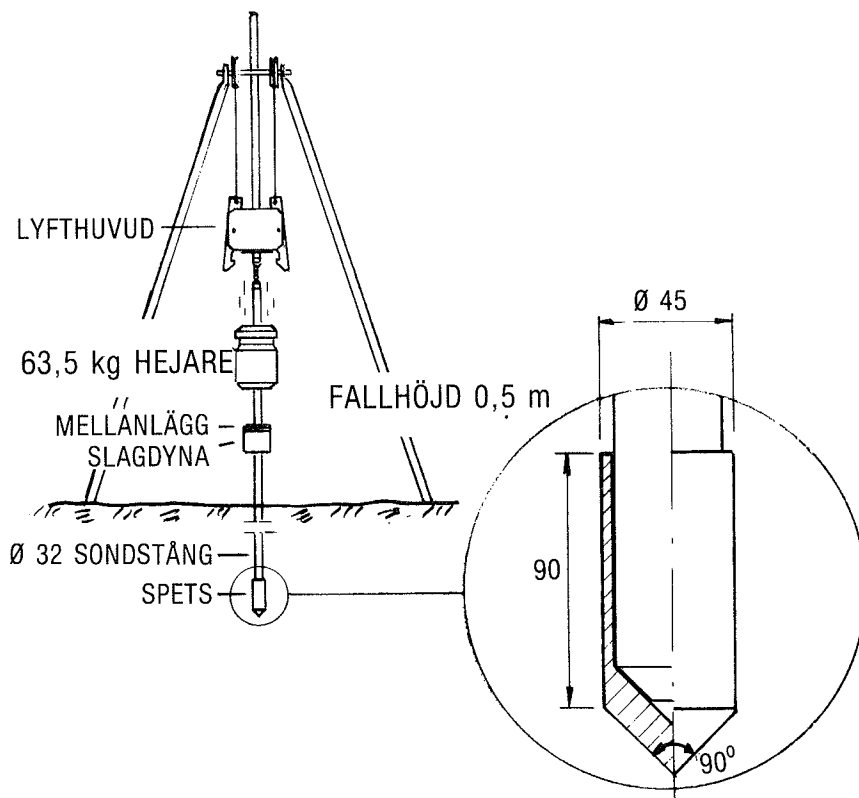


Fig. 11 Princip för hejarsondering enligt metod HfA.

Senare undersökningar av Bergdahl och Möller (16) har visat att den med hjälp av vridmomentet beräknade mantelfriktionen kan bli väsentligt lägre än vad som erhålls vid slagning. Därför föreslås att mantelfriktionen intermittent bestäms med hjälp av en glappkoppling vid spetsen, Fig. 13. Genom denna kan sondstängens lyftas från spetsen 0,2 m varje 1 à 2 m och sedan med slag drivas till ny kontakt med spetsen. Härigenom erhålls mantelfriktionen direkt i slag/0,2 m.

En annan nackdel med hejarsonden är dess dåliga upplösning i lösare jord samt att sonderingsmotståndet i slag/0,2 m i siltig jord kan bli större än vad som motsvarar jordens hållfasthets- och kompressionsegenskaper. För att förbättra hejarsondens möjligheter i detta avseende har Bergdahl och Möller i (16) föreslagit en kombination av hejarsondering och spetstrycksondering. Härvid har man utgått från hejarsondens yttre dimensioner och försett spetsen med en uttryckbar kon, Fig. 13. Uttryckningen med konstant hastighet utförs med hjälp av ett inre stångsystem och en domkraft som appliceras på stångtoppen. Utrustningen, som också omfattar en hydraulpump, manometer och indikatorlocka, är ett komplement till de normala hejarbockarna, Fig. 14 och 15. Vid spetstryckmätningen, som kan utföras på valfri nivå, erhålls en trycksättningskurva, Fig. 16. Kurvornas form kan ge en indikation på vilken typ av jord som finns vid spetsen medan motståndets storlek vid stora deformationer

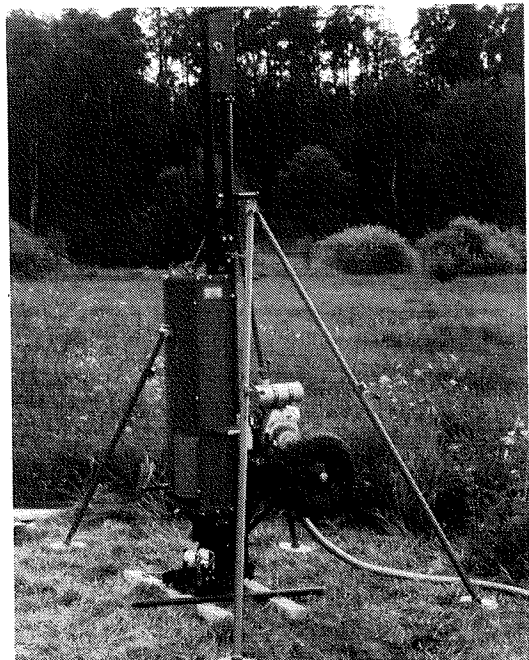
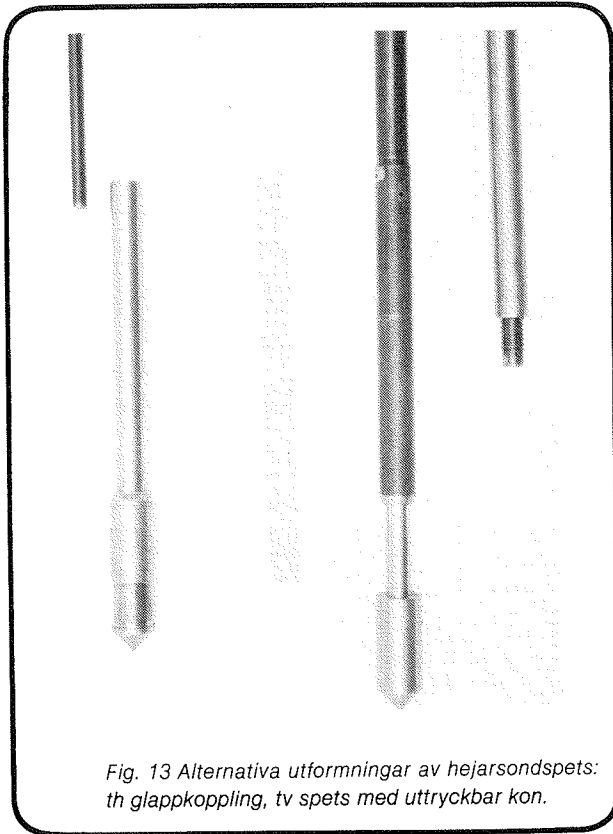


Fig. 12 Automatisk hejarbock typ Borros.

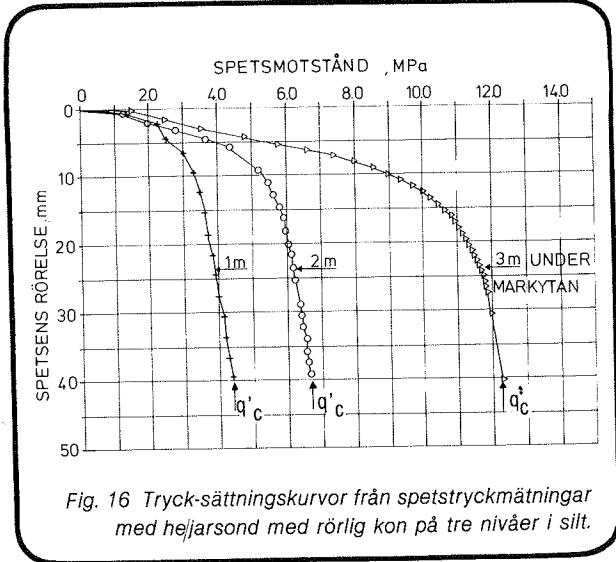
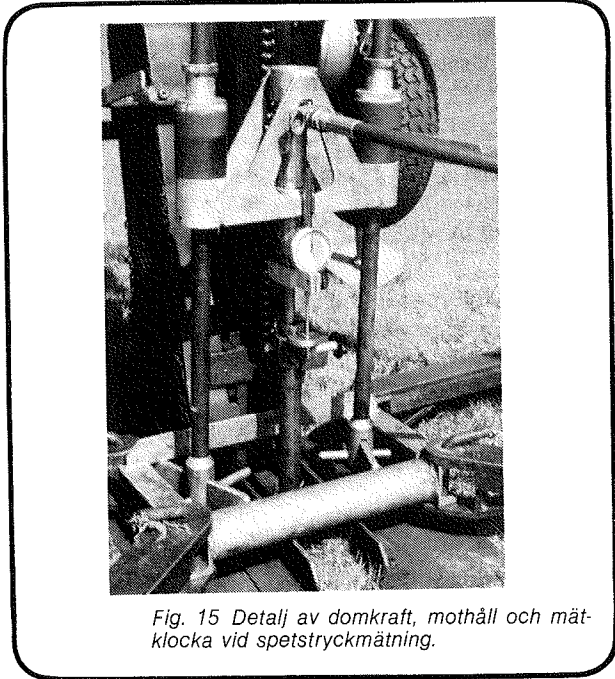
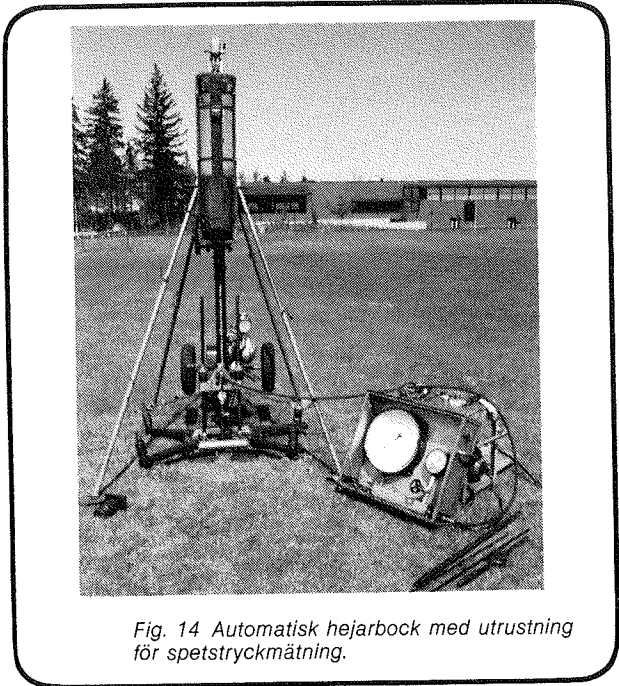
ger en anvisning om jordens hållfasthets- och deformationsegenskaper. Det maximala spetstrycket q'_c är ofta lägre än vad som erhålls med vanlig spetstrycksond, beroende på den lägre deformationshastigheten, och på den släppning som finns över konen sedan den nått viss deformation. Denna kombi-

nation av hejarsond och spetstrycksond bör användas i de fall man vill tränga ned i fastare jord, där vanlig spetstrycksond eller viktsond ej kan tränga ned, men där man samtidigt vill ha bättre upplysning om jordegenskaperna än vad en ordinär hejarsondering med glappkoppling kan ge.

I Fig. 17 redovisas resultat av en hejarsondering med glappkoppling och samtidig mätning av erforderligt vridmoment, samt en hejarsondering med intermittent spetstryckmätning och samtidig mätning av erforderligt vridmoment. Det maximalt uppmätta spetsmotståndet i MPa anges med stapel. För jämförelse redovisas också det på samma plats uppmätta spetstrycksonderingsmotståndet.



Den största användningen hittills har hejarsonden haft för bestämning av erforderlig längd för spetsbärande pålar. Den stoppnivå som erhålls för hejarsonden vid de normala avslutningskrav som gäller enligt Upphandlingsanvisningarna (6) har ofta visat sig stämma väl med stoppnivån för normalt förekommande betongpålar. Träpålar kommer ofta inte ned till samma djup som hejarsonden medan stålålar kan gå djupare. Avvikelser förekommer dock beroende på olikheter i jordlagerföljd. Anledningen till skillnaderna i pålarnas och sondens nedträngning är skillnaderna i spetsspänning som erhålls vid slagning av pålar och hejarsond som inledningsvis nämnts. Vid bestämning av erforderlig stoppnivå för pålar skall beaktas att plötsliga stopp kan vara osäkra om de inte förekommer i flera intill varandra liggande sonderingar eller då man vet att lös jord vilar direkt på berg.



Hejarsondering har under senare år i ökad utsträckning använts för bestämning av den relativa fastheten i fastare och stenig jord, morän och moränlera samt även i vittrat berg och krossmaterial där spetsstrycksond eller viktsond ej kunnat drivas ned. Det har visat sig att hejarsonden kan ge ett sannare värde på fastheten i stenig jord, Fig 18, än spetsstrycksonden beroende på de stora spetsstryck som erhålls mot större eller mindre stenar. Å andra sidan kan man i siltig jord få betydligt större sonderingsmotstånd med hejarsond än vad som svarar mot jordens hållfasthets- och kompressionsegenskaper, Fig. 19. Detta antas bero på portrycksändringar vid hejarsondens spets.

SPT-sonderingsmetoden (SPT) förekommer normalt inte i Sverige annat än för forskning men är den mest utbredda sonderingsmetoden i världen. SPT-sondering påträffas därför ofta i utlandsprojekt av svenska konsulter och entreprenörer varför metoden förtjänar en kort beskrivning. SPT står för Standard Penetration Test och sonderingen utgör en kombination av dynamisk sondering och provtagning. Metoden har antagits som svensk standard (4).

Vid sonderingen används en delbar provtagare, Fig. 20, som slås ned i botten av ett borrhål med hjälp av en fallhejare med 63,5 kg massa och 0,76 m fallhöjd, Fig. 21. Antalet slag N, som erfordras för att provtagaren skall tränga ned 0,30 m efter att först ha slagits ned 0,15 m (s k förslagning) anges som

sonderingsmotstånd. Vid mycket fast jord där det kan vara svårt att få prov in i provtagaren används ibland en fast kon i stället för provtagaren, Fig. 20. Eftersom sonderingen utförs i botten av ett borrhål blir sonderingen ej kontinuerlig. Man väljer då att göra SPT-försök i karaktäristiska skikt eller på varje 1 à 2 m under markytan.

Vid den traditionella SPT-sonderingen användes tidigare vid nedslagningen en hejare hängande i ett rep som löpte runt en friktionstrumma, ungefär som vi i Sverige tidigare använde för hejarsondering. Eftersom man förlorar en stor del (upp till 50 %) av slagen angår såväl den europeiska som den svenska standarden att frifallshejare numera skall användas. Det är därför viktigt att man klargör vilken metod som har använts för olika projekt.

Resultatet av en SPT-sondering redovisas på motsvarande sätt som en hejarsondering med den skillnaden att man inte får ett kontinuerligt diagram utan bara kan ange motståndet på de undersökta nivåerna. I redovisningen, Fig. 22, anges också jordart enligt den bestämning som gjorts på de vid sonderingen erhållna proverna. Viktigt är också att man anger vilken borrhåningsmetod som använts vid håltagning.

SPT-sondering används för provtagning och bestämning av jords relativa fasthet samt hållfasthets- och deformationsegenskaper i olika jordar. Man har

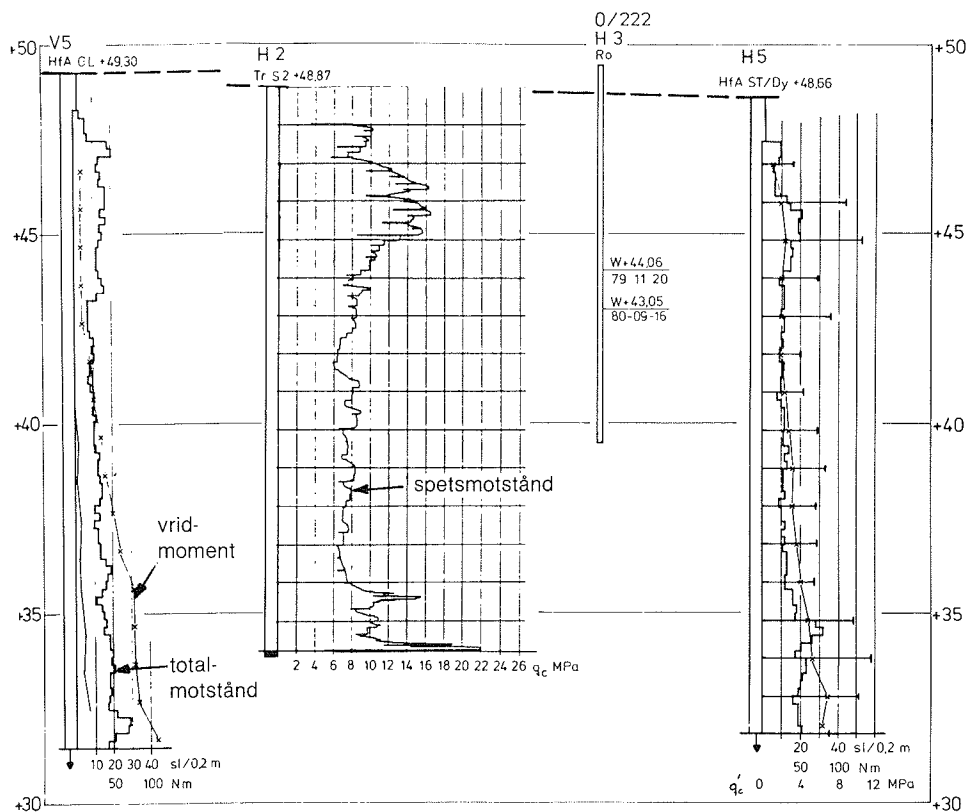


Fig 17 Resultat av sondering med a) hejarsond med glappkoppeling, b) spetsstrycksond, c) hejarsondering med intermittant spetsstryckmätning.

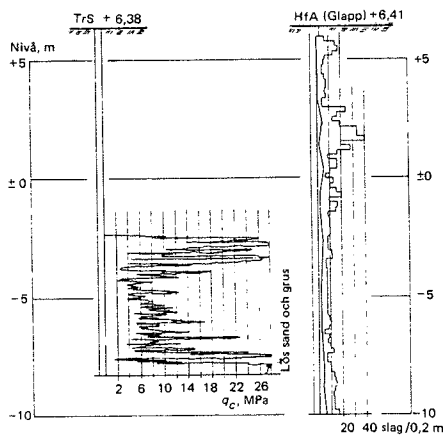


Fig. 18 I stenig jord kan hejarsonden ge ett riktigare värde på jordens fasthet än spetstrycksond.

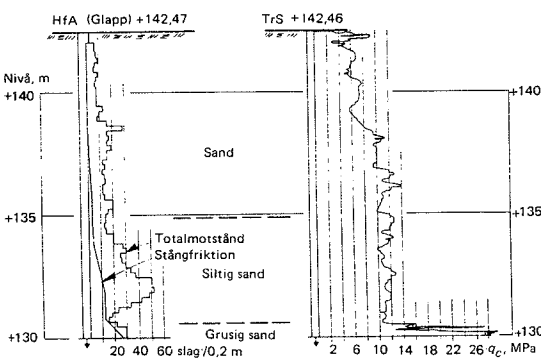
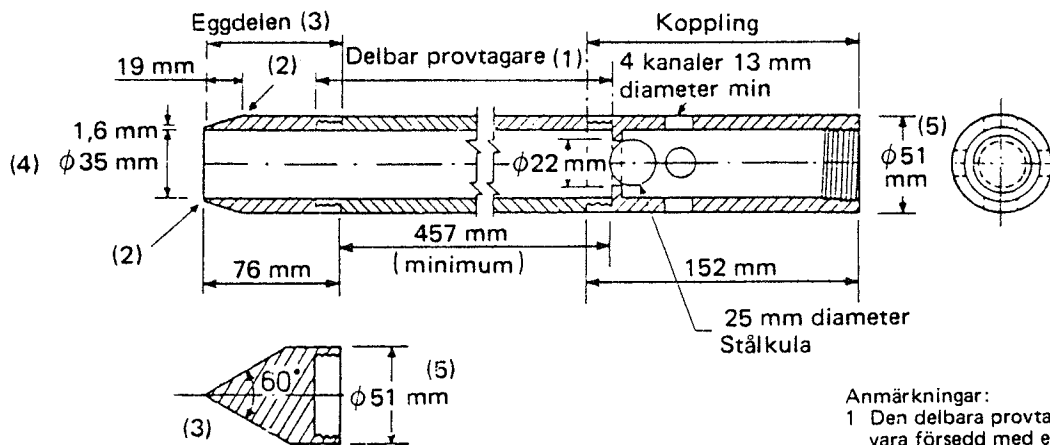


Fig. 19 Sonderingsmotståndet ökar i den siltiga sanden för hejarsond men ej för spetstrycksonden.

också utvecklade metoder för dimensionering och sättningsberäkning av såväl pål- som plattgrundläggningar utifrån resultat av SPT-sonderingar, jfr vidare (3). Vid användning av sådana dimensioneringsmetoder skall man beakta vilken typ av hejaranordning som använts vid sonderingen. Man skall också beakta att metoden inte är objektiv, dvs oberoende av vem och hur den utförs. Därför kan man få en stor spridning i resultaten.

Motorslagsondering (Slb) avser den dynamiska sondering som utförs med bensinmotordrivna bergborrmaskiner (typ Cobra, Pionjär, Wacker eller Hydrostar) och sondstänger $\varnothing 25$ eller $\varnothing 22$ mm. Som spets används $\varnothing 25$, $\varnothing 28$ eller $\square 28$ mm vid $\varnothing 25$ mm stänger eller $\varnothing 25$ eller $\square 25$ vid $\varnothing 22$ mm stänger. Ofta används även viktsondspets, speciellt när en viktsondering avslutas eller delvis utförs med motorslagsondering. Olikteterna beror på att någon standard ej finns för metoden. Det rekommenderas dock att man använder en förtjockad spets t ex $\varnothing 28$ för $\varnothing 25$ mm skarvstänger för att mantelfriktionen skall utgöra en mindre del av sonderingsmotståndet.

Den aktuella maskintypen ger en med varvtal och kondition varierande slageffekt Hellman (1969) (17) varför nedträngningen per slag kan variera högst väsentligt, Hultman & Olsson (1965) (18) samt Sjöberg & Kjellman (1970) (19).



Anmärkingar:

- 1 Den delbara provtagaren får vara försedd med en hylsa av innerdiameter 35 mm
- 2 Hörnen vid 2 får vara något rundade
- 3 I grusjordar får eggdelen ersättas med en massiv stålkon av diameter 51 mm och 60 graders spetsvinkel

Toleranser:

- 4 ± 1 mm
5 ± 1 mm

Fig. 20 Provtagare för SPT-sondering enligt SGF:s standard.

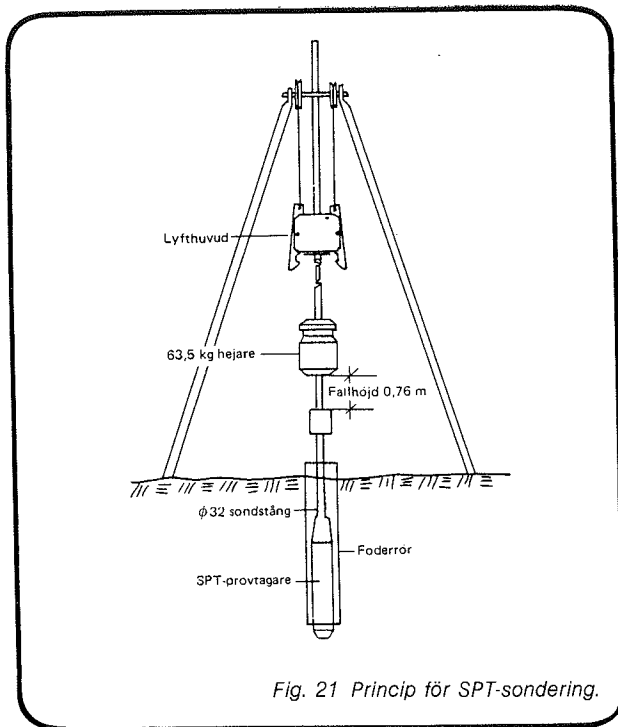


Fig. 21 Princip för SPT-sondering.

Vid sonderingen registreras motståndet i antal sekunder för 0,2 m sjunkning och resultaten redovisas på ritning enligt SGF:s beteckningsblad 4. I Fig. 23 visas exempel på en kombinerad vikt- och motorslagsondering. Viktsonden bör i dessa sammanhang användas så långt möjligt eftersom den ger bättre indikation på jordlagrens fasthet.

Motorslagsondering används ofta för att kontrollera s k bergfritt djup för t ex ledningar eller schakter, dvs man kontrollerar om det är möjligt att schakta till avsedd nivå utan att berg påträffas. Man kan emellertid inte vara säker på att uppnått stopp utgörs av berg. Härför erfordras jordbergsondering eller provgrovsgrävning. En bättre säkerhet än enbart stoppet kan erhållas genom avlyssning av de ljudvågor som alstras i berg om sonden slår direkt där emot s k bergindikering, Lundström och Stenberg (1963) (20).

Djupet till fast botten av morän eller berg för t ex pålar och spont kan normalt också erhållas med motorslagsondering. Goda resultat erhålls dock endast om överliggande jordlager är stenfria och förhållandevis lösa samt när djupet är mindre än ca 15 m. Man skall emellertid observera att motorslagssonden till följd av den låga kolvvikten i bormaskinen relativt lätt kan stoppa mot sten i t ex morän. Vid efterföljande spont eller påslagning föses sådan sten åt sidan. Särskilt misstänksam bör man vara om man vid sonderingen får ett plötsligt stopp, dvs stopp utan att sonden dessförinnan erhållit ett ökat motstånd.

I viss utsträckning kan motorslagsondering också användas för att grovt klarlägga jordlagerföljdens variationer i horisontalled, dvs mäktighet hos lös jord på morän, berg eller liknande. Man kan dock ej ur motorslagsonderingsresultat göra någon bedömning av jordens relativa fasthet i absoluta tal såsom för spetstryck-, vikt- och hejarsond. Jfr avsnitt "Utvärdering av sonderingsresultat".

Jord-bergsondering (Jb) avser här sondering med tryckluft eller hydrauldrivna bergbormaskiner med bergborrstänger och bergborrkronor. I detta avsnitt behandlas ej undersökningar i berg.

Normalt används $\varnothing 25$, $\varnothing 32$ eller $\varnothing 38$ mm bergborrstål och fyrskärs borkronor med diametern 41, 51 eller 64 mm. Även s k stiftborrkronor förekommer men skall enligt SGF:s rekommendationer ej användas. Vid bormningen används också spolning med luft, skum eller vatten för att transportera avverkat material upp genom borrhålet.

Ett stort antal bormaskiner (Fig. 24) med olikheter i tyngd, slagkolvvikt, kolvdiameter och slaglängd förekommer, varför det är svårt att tolka och/eller jämföra resultat från skilda jordbergsonderingar. För att klarlägga vilka utrustningar som används och komma med förslag till standardisering har en arbetsgrupp inom SGF:s Sonderingskommitté utfört

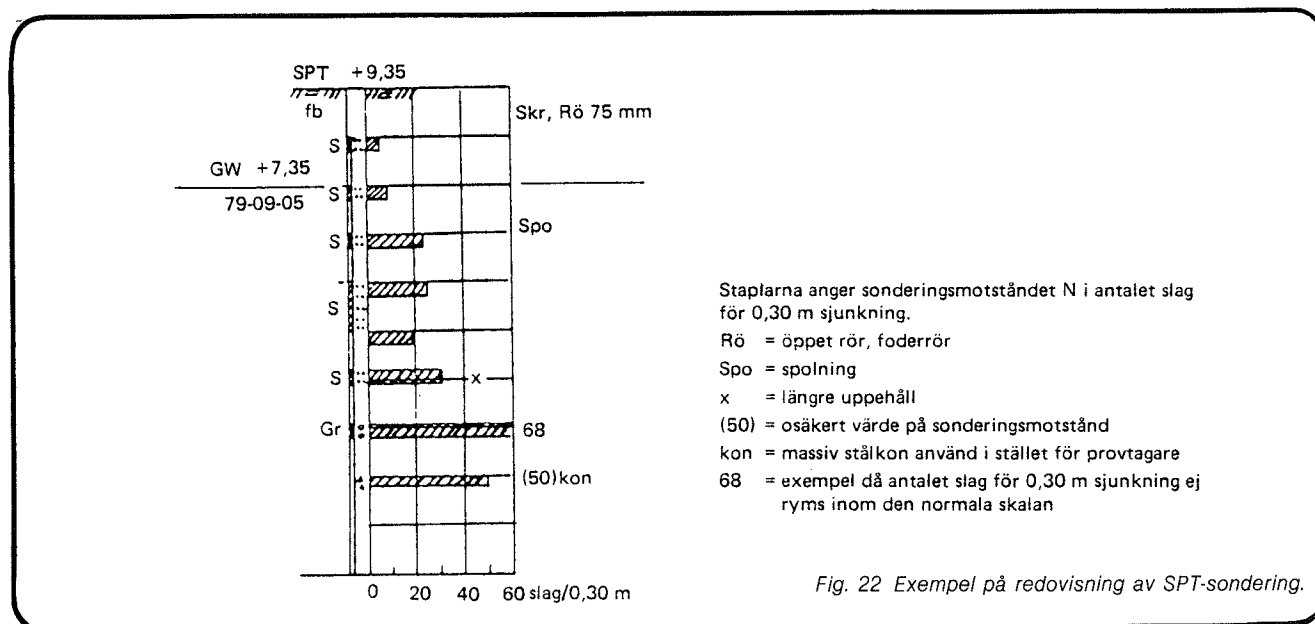


Fig. 22 Exempel på redovisning av SPT-sondering.

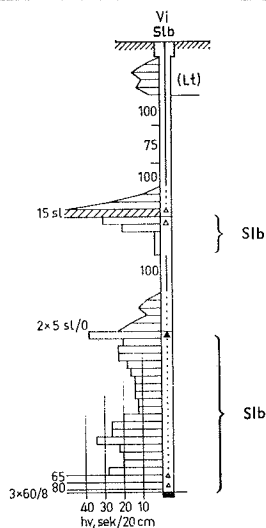


Fig. 23 Exempel på resultatredovisning från kombinerad vikt- och motorslagssondering.

en enkät om jordbergsondering. Gruppens förslag och synpunkter redovisas i Bygghorskningsens informationsblad B16:1974 (21). Enligt standardförslaget indelas utrustningarna i tre viktklasser: lätt, medeltung och tung (dessa viktklasser motsvarar normalt Atlas Copco bormaskiner BBC 24, BBC 100 och BBE 57.) Vilken utrustning som skall väljas beror av förekommande jordarter och deras mäktighet samt ändamålet med undersökningen. Största borrhingsdjup bör för lätt och medeltung borrhörutrustning ej överstiga 8 respektive 15 m. För större borrhördjup används tung utrustning. Karaktäristik för maskiner och tillbehör framgår av Tabell 1 enligt (21).

Under sonderingen mäts liksom vid motorslagssondering motståndet i sek/0,2 m sjunkning för sonden. Dessutom anges tjocklek och läge för genomsonderade block samt förekomst av sprickor vid bergkontroll. Redovisningen utförs enligt SGF:s beteckningsblad 4.

① Maskin eller funktion	Viktklass lätt	medeltung	tung
② Bormaskin			
totalvikt, kg	30	60	150
kolvvikt, kg	2,5	5	7
kolvdiameter, mm	70	100	120
slaglängd, mm	70	60	65
minsta spolrörsdiameter, mm	3	8	12
slagtal, slag/min	2100	2100	2200
③ Vridning			
separat vridmotor			ja
normalt varvtal, varv/min	200	200	50
④ Max. vridande moment, Nm			minst 700
⑤ Matning			
max. matningskraft, kN	1	2	6
⑥ Borrhörn	i regel	ja	ja
Luftförbrukning för slagverk och vridning, m ³ /min vid 0,6 MPa	5	8	12
⑦ Erforderlig luftmängd från kompressor, m ³ /min	7	11	17
⑧ Kontrollutrustning	i regel	ja	ja
mätare för lufttryck		ja	ja
mätare för spolvätskestryck		ja	ja
flödesindikator för spolmediet		ja	ja
mätare för matningskraft		ja	ja
⑨ Minsta slangdiameter, mm			
vid max. 50 m längd	38	38	51
vid max. 100 m längd	38	51	51
⑩ Borrstäng			
diameter, mm	25	32	38
normal längd, m	1,22	2,44	3,05
minsta spölhålsdiameter, mm	8	12	15
⑪ Borrkrona			
nominell diameter, mm	41	51	64
minsta diameter efter förslitning, mm	38	47	59
⑫ Foderrör			
⑬ Spolning			
⑭ Vinterutrustning			
⑮ Övrigt			

Tabell 1. Karaktäristik för olika jordbergsonderingsutrustningar enligt SGF:s Standardförslag (21).

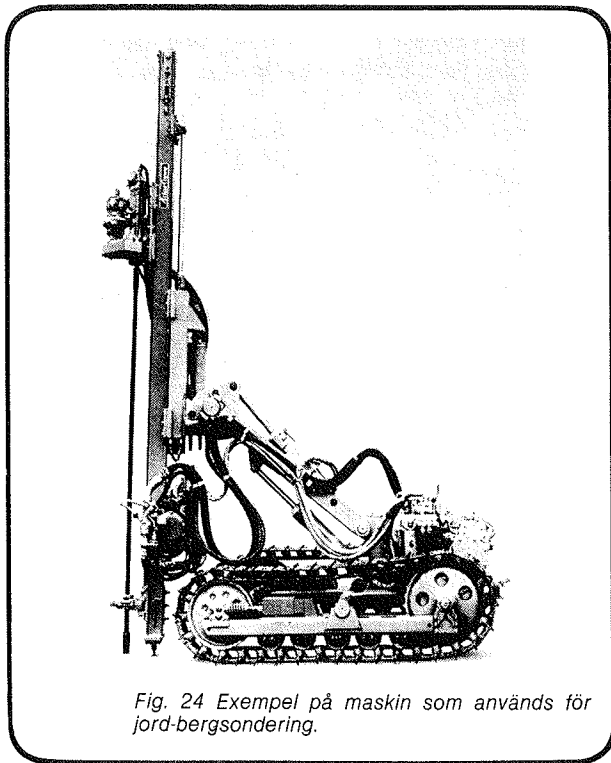


Fig. 24 Exempel på maskin som används för jord-bergsondering.

I samband med redovisningen av jordbergsonderingsresultat anges vilken typ av maskin, stänger, krona m m som använts vid sonderingen eftersom sjunkningen per slag (eller tidsenhet) varierar högst väsentligt. Skillnaderna framträder mellan lösare och fastare skikt bättre med en lätt maskin än med en tung. Däremot är nedträngningsförmågan mindre för den lättare maskinen, Fig. 25.

Jord-bergsondering används huvudsakligen för att klarlägga gränsen jord-berg. Dessutom används den för att tränga igenom blockrik jord och fyllning eller för att bestämma tjocklek hos block eller befintliga byggnadsfundament. När fast berg täcks av

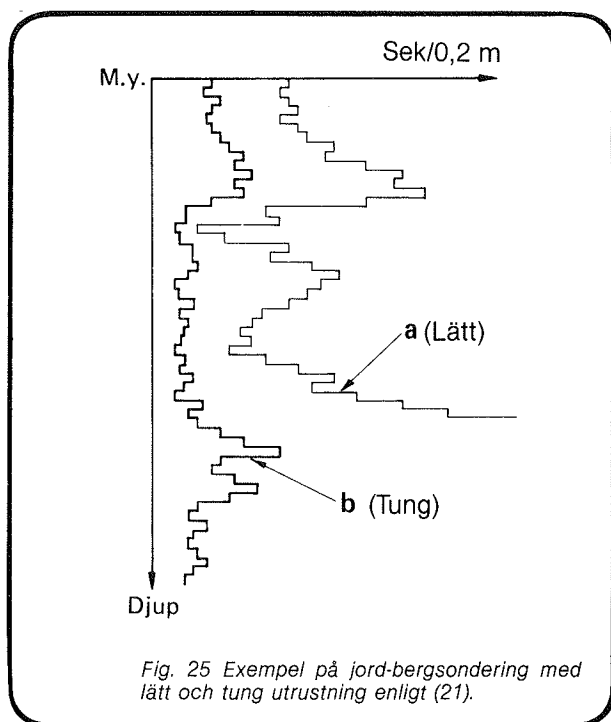


Fig. 25 Exempel på jord-bergsondering med lätt och tung utrustning enligt (21).

lös jord är det lätt och säkert att bestämma djupet till bergytan. Vid sprickigt, uppkrossat eller vittrat berg är det däremot svårt att enbart med jordbergsondering ange bergytans läge. För en säker bestämning av bergytans läge erfordras normalt att sonderingen fortsätts 3-5 m i berg.

Beroende på stora olikheter i utrustningar och den ofta höga slageffekten, som ju normalt är avsedd för bergborring, kan man inte göra någon absolut bestämning av jordens relativa fasthet utifrån jordbergsonderingsresultat. En viss uppfattning om de genomborrade jordlagrens fasthet sinsemellan i ett borrhål eller i en serie borrhål på samma plats kan dock erhållas. Dessutom kan man få en viss uppfattning om det genomborrade materialets karaktär genom att iakta uppspolat borrhax.

KOMBINATION AV SONDERINGSMETODER

De ovan beskrivna undersökningsmetoderna har begränsningar i t ex nedträngningsförmåga och upplösningsförmåga när det gäller att urskilja variationer i jordens relativa fasthet. På grund härav har det varit vanligt att man utför flera olika sonderingar vid samma undersökningspunkt t ex viktsondering + hejarsondering eller totaltrycksondering + motorslagsondering. Dessa dubbla sonderingar är emellertid kostsamma varför man försöker göra kombinationer av sonderingsmetoder så att man får stor upplösning i lösare jord men också tillräckligt stor nedträngningsförmåga. Exempel på sådana kombinationer är den under viktsondering beskrivna kombinationen med motorslagsondering.

Ett annat exempel är den under hejarsondering beskrivna kombinationen med spetstryckmätning.

Ofta tvingas man göra förborring med jordbergsonderingsutrustning genom fyllning för att kunna sondera i underliggande naturlig jord. Här har de nya hydrauliska borrhaxarna med hydrauliska slagbormaskiner betydligt mycket eftersom man inte behöver ha flera maskiner på plats.

PORTRYCKSONDERING (TrP)

Vid portrycksondering mäts det porvattentryck som genereras vid en sondspets, som med konstant hastighet tränger ner i jorden. Någon standard för portrycksond finns ännu inte men arbete pågår. Vid portrycksondering har hittills flera olika slags spetsar använts. Den i Sverige vanligen använda spetsen vid sondering i lera och annan lös jord visas i Fig. 26 och beskrivs av Torstensson (1975) (22). Den består av en ca 15 mm tjock spetsig del, som ett stycke över spetsens nedre del har ett cylindriskt filter genom vilket portrycket kan fortplanta sig från jorden via en vätskefylld kanal till en tryckgivare. Vid en annan typ av spets har man kombinerat den standardiserade spetstrycksonden med en portrycksgivare där ett ca 5 mm högt filter placerats alldeles ovanför den koniska spetsens bas. De båda spetsarna ger olikheter i genererade portryck. Filt-

ret och kanalen fram till tryckgivaren måste hållas vattenfyllda för att representativa portryck skall mätas. Denna sondering kan därför normalt ej utföras över grundvattenytan.

Portryckssonden pressas ned med en nedpressare som kan ge konstant nedpressningshastighet 0,02 m per sekund (samma som för spetstryckssonden). Eventuellt kan sonderingen avbrytas på intressanta nivåer för att man efter tryckutjämning skall kunna avläsa porvattnets statiska trycknivå.

Signalerna från portrycksgivaren i spetsen förs enligt system BAT via kabel i rören till en skrivare, medan de i Geotechs system överförs akustiskt till en mikrofon som fästs vid borrstängens övermarkytan och därifrån till en skrivare. Skrivarna registrerar i båda systemen kontinuerligt det genererade portrycket i jorden eller kan sättas att registrera det med tiden avklingande portrycket när sonderingen avbryts.

Portryckssondering kan användas för att bättre skilja mellan täta och genomsläppliga skikt i lösa huvud-

sakligen stenfria jordar, Fig. 26. Detta kan ha stor betydelse vid t ex bedömning av dräneringsförhållandena i jorden och vid stabilitetsanalyser.

I lera genereras under sonderingen ett porvattenövertryck som vid den mindre spetsen blir av storleken 5 à 7 gånger jordens odränerade skjuvhållfasthet. I silt och sand blir övertrycket litet eller inget. Även negativa portryck relativt det statiska eller relativt lufttrycket har uppmätts i silt. Detta antas bero på att jorden är så fast att den utvidgar sig närmast spetsen under neddrivning.

Man har också försökt att med hjälp av tidsförloppet för det avklingande porvattenövertrycket, sedan en sondering avbrutits i lera, bestämma konsolideringskoefficienten i horisontalled, C_h . Utvärdering enligt hittills föreslagna teorier har dock givit för höga värden (23). Förhoppningsvis kan dock fortsatt insamling av erfarenheter från fältstudier ge underlag för revidering av teorierna.

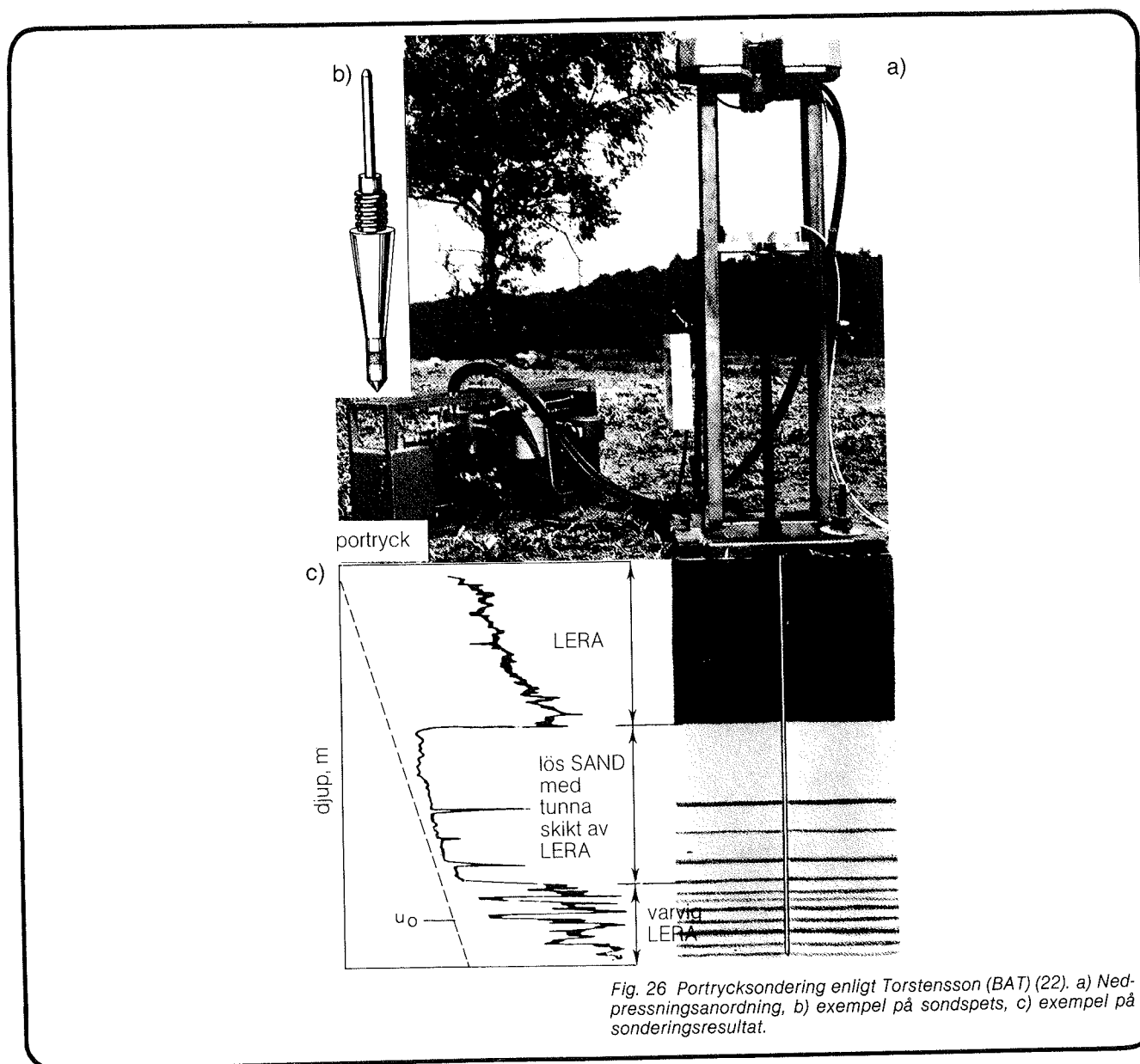


Fig. 26 Portryckssondering enligt Torstensson (BAT) (22). a) Nedpressningsanordning, b) exempel på sondspets, c) exempel på sonderingsresultat.

UTVÄRDERING AV SONDERINGSRESULTAT

Ett av syftena med sondering är att få en grov bild av jordlagerföljd på en plats som t ex visas för viktsond i Fig. 4. Under beskrivning av respektive sonderingsmetod har också något nämnts om hur bedömning av jordlagerföljden kan göras utifrån sonderingsdiagrammens form och motståndens storlek. Nedan ges några allmänna synpunkter på utvärderingen och ett förslag till samband mellan sonderingsresultat och friktionsjordars egenskaper.

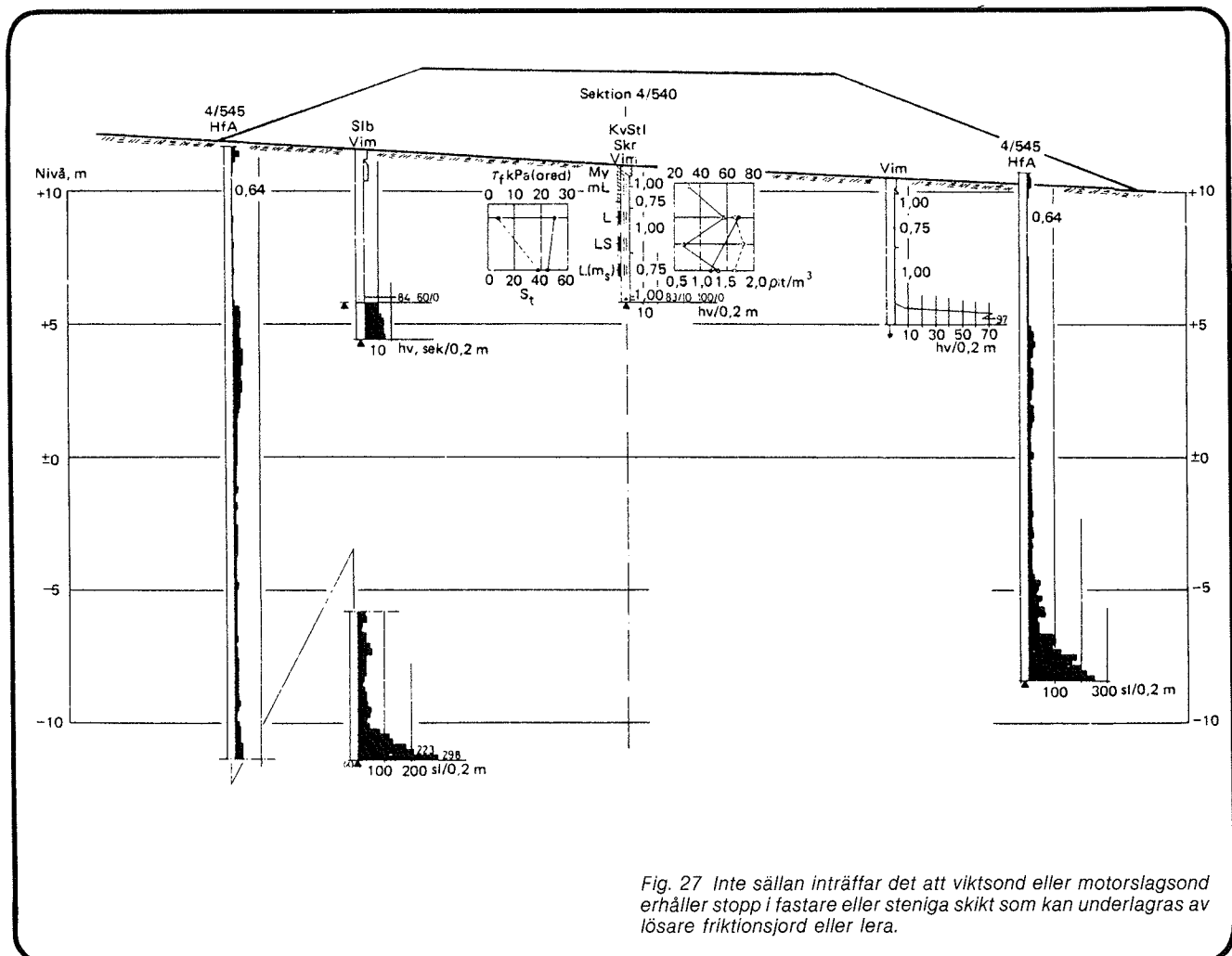
Vid en sonderings avslutande används ofta uttrycket "fast botten" varvid man normalt avser att man uppnått nedträngningsförmågan för metoden i fråga eller att motståndet överstiger normala kvalitetskrav enligt t ex Upphandlingsanvisningarna (6). Fast botten för viktsond och hejarsond blir således normalt olika. På samma sätt är fast botten för trä- och stålspålar också olika. Om man i sin redovisning använder uttrycket fast botten bör man precisera vad som avses.

I vissa jordlagerföljder förekommer fastare jord över lösare t ex kan s k moränflottar finnas inlagrade i såväl ler- som friktionsjord. I närheten av grusåsar och moränryggar förekommer ofta steniga skikt av svallad jord över lös sand och lera. För många byggnadsprojekt är det väsentligt att sådana förhållanden klarläggs vid den geotekniska utredningen.

Om man i sådana fall av geologiska skäl misstänker att lösare jord finns längre ned måste man komplettera undersökningen med tyngre utrustning; hejarsondering eller jord-bergsondering.

Om man av geologiska skäl har direkt anledning att misstänka förhållanden enligt ovan kan man med ledning av stoppnivåerna för intilliggande sonderingar och sonderingsmotståndets variation närmast över stoppnivå få en uppfattning om det är en sannolik eller osannolik bild av jordlagerföljden som sonderingarna ger. Ofta kan plötsliga stopp indikera att man fått stopp mot sten eller block, Fig. 27. Är man tveksam till resultaten bör en omsondering ske på minst 1 m avstånd från den "misstänkta" sonderingspunkten.

Vid bedömning av friktionsjords relativa fasthet bör man komma ihåg att hejarsond borde ge de mest relevanta värdena i grusig-stenig jord medan spetstrycks-sond bedöms ge de riktigaste värdena i siltig jord. I sand bedöms viktsond, hejarsond och spetstrycks-sond vara likvärdiga med avseende på bedömning av jordens relativa fasthet.



Enligt gällande svenska normer används enbart viktsond för bedömning av friktionsjords fasthet. Sålunda anges i Svensk Byggnorm 1980 (24) att sand anses vara fast lagrad vid sonderingsmotstånd 15 halvvarv/0,2 m sjunkning medan den anses löst lagrad vid sonderingsmotstånd mellan 1 och 15 halvvarv/0,2 m sjunkning.

Enligt Bronormerna (1976) (25) anses medelfast lagring gälla vid sonderingsmotstånd över 10 halvvarv/0,2 m sjunkning och fast lagring anses gälla vid sonderingsmotstånd över 30 halvvarv/0,2 m sjunkning.

Dessa klassificeringar stämmer alltså inte överens sinsemellan och inte heller med internationell praxis för klassificering av friktionsjords fasthet. Arbetet pågår därför vid Statens geotekniska institut att sammanställa tidigare använda klassificeringssystem och jämförelser mellan olika sonderingsmetoder. Man har också tagit med de olika förslag till utvärdering av jordens inre friktionsvinkel och sättningens modul, som finns redovisat i litteraturen (3). Dessa sammanställningar har också anpassats till egna jämförelser och utvärderingar av jordparamet-

rarna. Beroende på jordens heterogenitet och metodernas naturliga variationer uppkommer alltid en stor spridning i sådana jämförelser. De i Tabell 2 angivna värdena för samband mellan sonderingsresultat från olika metoder och mellan sonderingsresultat och karaktäristiska värden på hållfasthets- och deformationsparametrar får anses utgöra medelvärden av tillgängliga uppgifter. Någon säkerhet finns således ej inbakad i värdena. Värdena i tabellen gäller främst för sand. Vid silt och grus görs korrigering av friktionsvinkeln enligt tabellens fotnot.

Vid användning av tabellen för val av ϕ och E bör i första hand resultat från spetstrycksondering användas. Rätlinjig interpolering kan mellan angivna värden användas. Då endast resultat från vikt- eller hejarsondering finns tillgängligt bör det för intervallet lägsta värdet användas.

Vid beräkningar av sättningar bör i första hand direkta metoder baserade på olika undersökningsresultat användas (26), (27), (28), (29), (30), (31), (32), (33). De angivna modulerna bör således tills vidare endast användas för överslagsberäkningar.

Relativ fasthet	TrS, q_c MPa	q_c -värdena till vänster motsvaras normalt av nedanstående värden för Vim resp HfA		ϕ °	E MPa
		Vim hv/0,2 m	HfA _{netto} sl/0,2 m		
Mycket löst	< 2,5	< 10	< 5	29–32	< 10
Löst	2,5– 5,0	10– 30	5–10	32–35	10–20
Medelfast	5,0–10,0	20– 60	7–15	35–38	20–30
Fast	10,0–20,0	40–100	10–40	38–42	30–60
Mycket fast	> 20,0	> 80	> 30	> 42	> 60

^a Angivna värden gäller för sand. För silt görs avdrag med 2° och för grus tillägg med 2°.

Tabell 2. Jämförelser mellan resultat från olika sonderingsmetoder i sand och deras samband med jordparametrarna ϕ och E.

Provtagningsmetoder

ALLMÄNT

Upptagning av jordprover är ett nödvändigt komplement till andra typer av undersökningar t ex sondering för att jordlagerföljd korrekt skall kunna bestämmas. Behovet av provtagning växlar från fall till fall beroende bl a på de geologiska förhållandena och ändamålet med undersökningarna. Vid preliminära eller översiktliga undersökningar är det i allmänhet tillräckligt att ta enstaka prover i karaktäristiska skikt för att identifiera jordmaterialet. Vid detaljprojektering av byggnader, ledningar och schakter är det nödvändigt att ta representativa prover nära den blivande konstruktionen för närmare undersökning på laboratorium så att dimensionering av grundläggnings- och grundförstärkningsåtgärder samt sättningsberäkningar kan utföras.

Några anvisningar för hur många prover och vilken typ av prover som skall tas vid geotekniska utredningar finns inte utom vid undersökningar för broar (34). Generellt gäller dock att man måste ta prover av representativa jordskikt som de framkommer vid t ex sonderingarna inom hela den jordvolym som berörs av projektet. Detta innebär att prov ofta måste tas utanför den aktuella konstruktionen vid t ex stabilitetsproblem eller långt under konstruktionen vid sättningsproblem. Vidare bör fler prover tas där jordförhållandena växlar starkt än där man har likartade förhållanden inom hela det berörda området.

Med hänsyn till kvalitén på proverna kan provtagningsmetoderna indelas efter grad av störning i ostörd, störd och omrörd provtagning. Vilken typ av provtagning som skall utföras bestäms dels av ändamålet med provtagningen, dels av jord- och grundvattenförhållandena på platsen. Bl a måste man vara försiktig med ursköljning av finjord vid provtagning under grundvattenytan samt med krossning av material vid provtagning i fast jord. För enbart identifiering och vattenkvotsbestämning kan störd eller omrörd provtagning användas medan det för bestämning av hållfasthets- och deformationsegenskaper på laboratoriet erfordras ostörd provtagning. Helt ostörda prover kan ej tas beroende på inverkan av provtagaren och de tryckförändringar provet utsätts för vid upptagning ur jorden. Standardiserade metoder för provtagning i kohesionsjord har dock visat sig ge så god provkvalitet att de kan betraktas som ostörda prover för praktiskt bruk (35), (36), (37).

Vid provtagning i friktionsjord beaktas att provtagarna har små dimensioner varför grövre partiklar ej fås med i provtagningen. I sådana fall identifieras jorden ej enbart med upptagna prover utan även med ledning av sonderingsresultatet, iakttagelser på platsen samt de geologiska förhållandena. T ex kan sten- och blockhalt bestämmas genom särskild mätning vid provgroppsgrävning även om man ofta kan få en viss uppfattning av sonderingsresultat och

uppgifter om den geologiska formationen. Man bör t ex vid bedömning av morän och jord av moräntyp misstänka att dessa innehåller såväl grus som sten och block, vilket kan vara av stor betydelse för bl a schaktning, spontning och pålning.

Upptagna prover skall hanteras på ett sådant sätt att jordens egenskaper och struktur inte ytterligare förändras efter provtagningen. Så bör t ex klumpar från skruvprovtagare i möjlig mån behållas hela och prover av sensitiv lera och silt ej utsättas för stötar. Proverna får ej heller utsättas för uttorkning genom stark värme eller för frysning.

Vid provtagning förs protokoll över provens nummer, djup under referensnivå samt görs en preliminär benämning av jorden. Vid kontinuerlig provtagning noteras djup till jordartsgränser. Särskilda provtagningsprotokoll har upprättats inom institutioner och företag för såväl kolvprovtagning som kontinuerlig provtagning, jr (11).

Redovisning av provtagning i plan- och sektionsritningar utförs enligt SGF:s Beteckningsblad (5).

OSTÖRD PROVTAGNING

För närmare undersökning av jord bl a med avseende på hållfasthets- och deformationsegenskaper erfordras ostörd provtagning. Främst används standardkolvborr St I och St II samt i viss mån foliekärnborr. Dessa lämpar sig för provtagning i främst kohesionsjord men prover med god kvalitet (begränsad förändring av de mekaniska egenskaperna) kan även erhållas i silt och sand, speciellt om dessa innehåller lera eller organisk jord. I grövre jord är det svårt att ta ostörda prover med kolvborr beroende på stort neddrivningsmotstånd och jordens dåliga sammanhållning samt beroende på störning av jorden när grövre korn passerar skäreppen. Det är också svårt att få ostörda prover i fast lera, siltig gytta och torvjord.

I grovkornig jord kan, om jorden håller samman, blockprover grävas fram över grundvattenytan. Försök har också gjorts med frysning och injektering av sådan jord före utgrävning av blockprover.

Kolvprovtagning

Kolvprovtagaren St I utvecklades under slutet av 1950-talet och början av 60-talet i samarbete mellan SGF:s Kolvborrkommitté och Statens geotekniska institut (38) (39). Kolvprovtagare St II har utvecklats av Borros AB. Båda utrustningarna har godkänts av SGF:s Kolvborrkommitté och följer den av SGF antagna standarden. Standardiseringen avser bl a provdiameter (50 mm), provlängd (700 mm) och eggvinkel. Begreppet kolvprovtagare kommer av att provtagningsdonet är utfyllt av en kolv under det att

provtagaren förs ned till något över provtagningsnivån. Vid provtagningen stansas provet ut medan kolven hålls kvar på utgångsnivån med band, stång eller kedja, Fig. 28.

Kolvprovtagare St I, Fig. 29, består av ett provtagningsrör med egg som uppåt skarvas med förlängningsrör. Inuti provtagaren finns kolv med tätningar som via en kolvstång kan fixeras mot borrhällning eller motsvarande. I provtagningsröret sätts provhysor av plast.

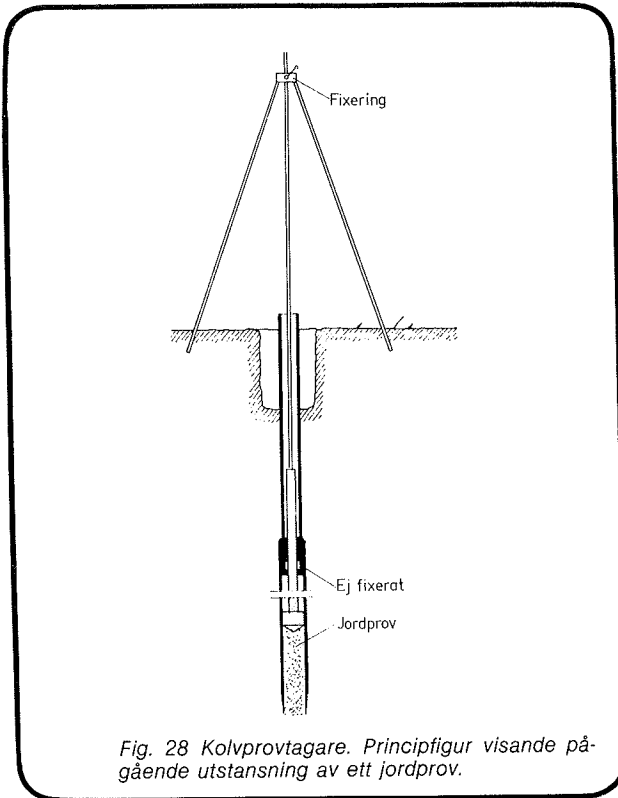


Fig. 28 Kolvprovtagare. Principfigur visande pågående utstansning av ett jordprov.

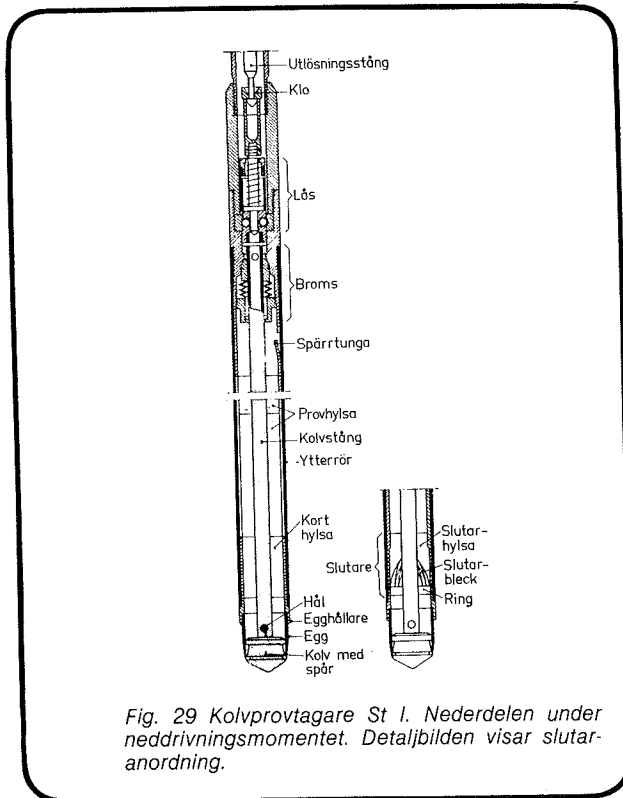


Fig. 29 Kolvprovtagare St I. Nederdelen under neddrivningsmomentet. Detaljbilden visar slutaranordning.

Utstansning av provet bör ske med jämn och långsam hastighet, ca 30 sek för hela utstansningen. Det är också viktigt att man inte driver provtagaren för långt eftersom man då pressar samman provet i provtagaren. Sedan provet stansats ut bör man vänta 3-5 min så att viss tryckutjämning hinner ske. I kvicklera erfordras längre väntetid. För att kvarhålla provet i provtagaren behövs ibland dessutom slutare. Användningen skall dock begränsas eftersom provet störs av slutaren. Sedan provtagaren tagits upp tas provhysorna ut och förses med plastmellanlägg och vattentäta lock.

Neddrivning och uppdragning av provtagaren kan utföras för hand eller med hjälp av vals- eller vevdomkraft. Under senare år har borrhällningsvagnar i större utsträckning använts också för detta arbete. Härigenom kan man också anbringa större neddrivningskraft varigenom den hejning, som ofta måste tillgripas vid handdrift blir onödig. För ytterligare information om konstruktion och hantering av kolvprovtagare St I hänvisas till (39) och (11).

Vid kolvprovtagare St II, Fig. 30, finns inget inre system för fixering av kolven till borrhällningen utan utstansning sker genom att förlängningsstången fixeras till borrhällningen och roteras 70 varv varvid en spindel i provtagaren driver ned provtagaren. Härvid får inte ytterröret rotera med stangen varför detta försetts med fyra styrinjaler. Vid provtagning i mycket lös jord kan en särskild vinge placeras på ytterröret så att rotation av detta undviks. Genom att

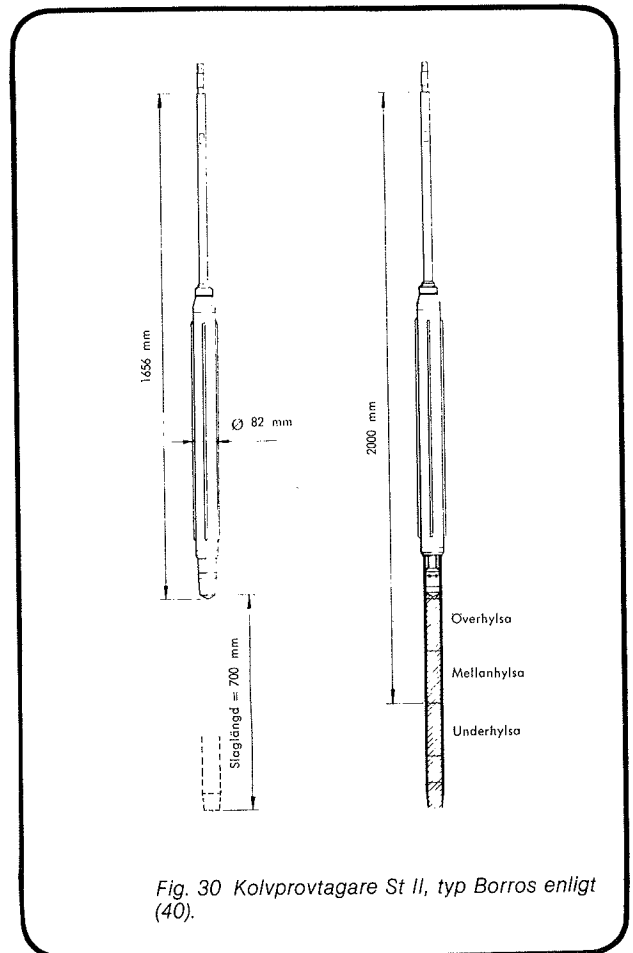


Fig. 30 Kolvprovtagare St II, typ Borros enligt (40).

rotationen av förlängningsstången hålls vid ca 1 varv/s fås en total utstansningstid av mer än 1 min. För ytterligare detaljer om konstruktion och hantering av provtagaren hänvisas till (40).

De båda typerna av kolvborr är i huvudsak likvärdiga beträffande erhållen provkvalitet. Provtagare St II är dock bättre för fast lera och vid provtagning från t ex flotte med sjöhävning eftersom den ej nödvändigtvis måste fixeras till flotten utan kan drivas intermittent genom en successiv uttryckning och nedpressning. Genom sin konstruktion får man också en jämnare utstansning av provet med St II, vilket är till fördel för provkvalitén. Ur skötsel- och underhållssynpunkt är dock St I enklare än St II.

Vid protokollföring är det viktigt att ange rätt nummer på de tre provhylsorna, över-, mellan- och underhylsa. Dessutom bör man notera andra faktorer som kan ha betydelse för bedömning av provets kvalitet, t ex om eggen är skadad, hejning utförts, slutarbleck använts etc. Jfr (11).

För att underlätta kontroll av jordförhållandena i samband med flygbildstolkning har också utvecklats en serie utrustningar som är bärbara. I denna serie ingår en $\varnothing 21$ mm kolvprovtagare som visat sig ge god provkvalitet i lös kohesionsjord (42).

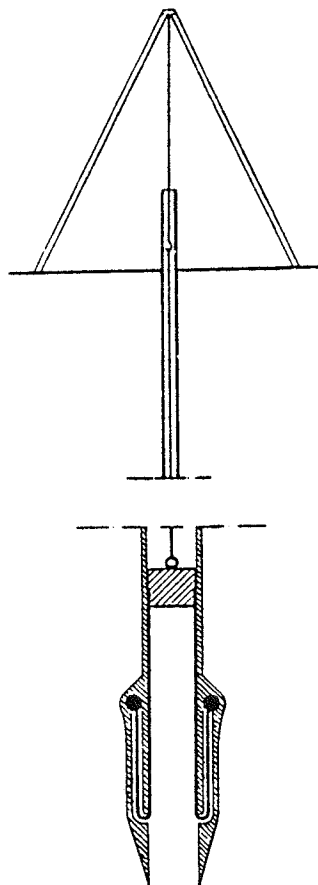


Fig. 31 Princip för folieprovtagare, enligt (41).

Folieprovtagare

Folieprovtagare används när man skall ta långa sammanhängande ostörda prover främst i kohesionsjord. Upp till 25 m sammanhängande kärnor har tagits men praktiskt bör man räkna med upp till 10 m åt gången.

Folieprovtagaren innehåller i spetsen ett antal metallfolierullar vars ändar är fästade vid kolven, som fixeras på markytan. Vid utstansning av provet dras folierna ut och omger provcylindern, Fig. 31. Härigenom elimineras friktionen mellan jordprovet och det nedåtgående provtagningsröret. Provtagaren finns i två dimensioner $\varnothing 44$ och $\varnothing 67$ mm. Den grövre anses ge ostörda prover medan den klenare ger prover med viss störning. Den mindre provtagaren är dock lättare att hantera varför den används mest. En detaljerad beskrivning av denna provtagare återfinns i (41).

Torvprovtagare

För att förbättra kvaliteten på prover av ytligt liggande torvlager har Statens geotekniska institut utvecklat en särskild torvprovtagare. Denna består av en vågtandad egg monterad på ett $\varnothing 110$ mm plaströr, som samtidigt utgör provbehållaren. Provtagaren trycks ned med en liten fram- och återgående rörelse så att fibrerna i torven delvis sågas av. Jfr Fig. 32.

Erfarenheten visar att störningen med denna provtagare blir mindre än med Standardkolvprovtagare.

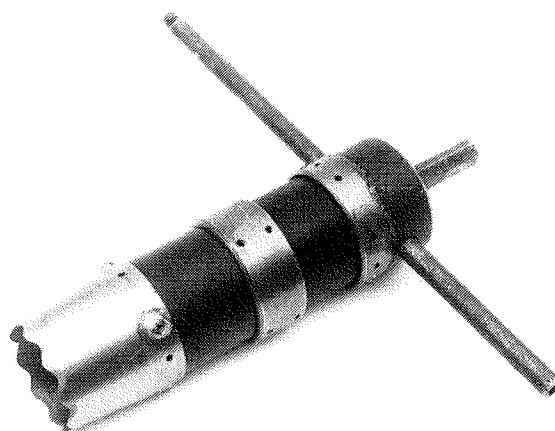


Fig. 32 Torvprovtagare $\varnothing 110$ mm.

STÖRD PROVTAGNING

När ostörda prover inte kan tas eller inte behövs för undersökningen tas störda prover. Dessa prover är tillfyllest för bestämning av jordart samt för laboratorieundersökningar avseende kornstorlek, plasticitet, tjälfarlighet och vattenkvot. Störda prover kan tas med ett flertal olika utrustningar såsom provtagningsspetsar, SPT-provtagare, skruvprovtagare, tubkärnborr, vibrolod och moränprovtagare samt genom provgropsgrävning.

Provgropsgrävning används ofta vid relativt yttlig provtagning 0-5 m och i stenig och blockig jord där annan provtagningsmetod ej är möjlig. Metoden används också där man vill ha större provmängder för närmare undersökning av materialets bärighet, packningsegenskaper och permeabilitet för t ex täktverksamhet, jorddammar och stora vägskäringar. Större djup än ca 5 m kan nås med sk teleskopspont eller genom att grävmaskinen får gräva sig ned i etapper. Grävning utförs normalt med maskin men måste i vissa fall utföras för hand. Grävmaskinens storlek anpassas till önskat grävdjup och de aktuella jordförhållandena. Vid grävning måste de arbetskyddstekniska frågorna noga beaktas (43) (44).

Vid undersökning av jord för grundläggning av konstruktioner bör provgropen placeras utanför den blivande konstruktionen eftersom grävning och återfyllning kan försämra grundläggningsförhållandena.

Provgropsgrävningen ger möjlighet att studera jorden och dess beteende i större skala jämfört med provtagning. Man bör följa grävningen och göra noteringar om grävbarhet, sten och blockhalt, grundvatteninläckning, grundvattennivå (efter något dygn) och jordens flygbenägenhet.

Under grävningens gång eller i schaktväggen efter avslutad schakt uttas representativa prover av förekommande jordlager. När jorden bedöms vara homogen uttas prover varje 0,5 eller 1,0 m.

Protokoll förs över iakttagelser och provernas läge. Vidare görs en skiss över provgropen samt tas fotografier av såväl grop som uppgrävda massor. Jfr vidare (11) och (45) och Fig. 33.

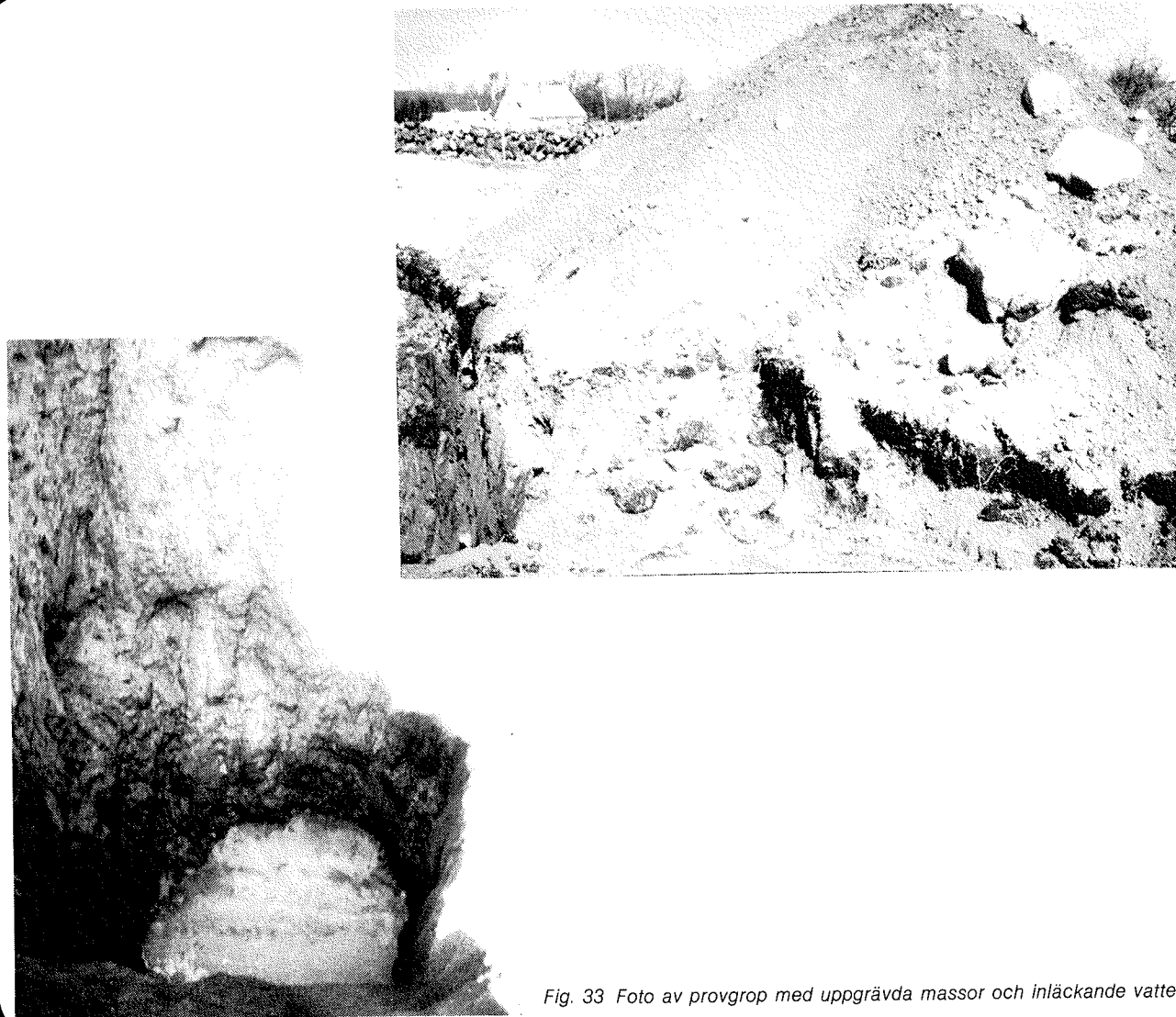


Fig. 33 Foto av provgrop med uppgrävda massor och inläckande vatten.

Provtagning med spets

Provtagningsspetsar typ Borros \varnothing 50, 34 eller 25-30 mm används för punktviss provtagning i friktionsjord och fast kohesionsjord samt vid provtagning på stora djup. De båda grövre används tillsammans med hejarbock och \varnothing 32 mm skarvstänger medan de mindre används tillsammans med motorslagmaskiner typ Cobra, Pionjär och Wacker och \varnothing 22 eller 25 mm skarvstänger. Vanligen kan provtagaren förses med provhylsa för förvaring och transport av proverna.

Spetsarna är av kolvprovtagartyp, jfr St II, och kan drivas till önskat djup innan provtagning utförs genom att provtagaren öppnas och fylls genom neddrivning, Fig. 34. Öppningen sker som vid St II genom att stängeln roteras. Vid provtagning i jord under vatten bör slutare användas för att hålla kvar provet. Eventuellt kompletteras slutaren med en plastfolie.

En stor fördel med dessa provtagningsspetsar är att man är oberoende av om borrhålet står öppet eller ej. En nackdel är att de i fast jord kräver kraftig hydraulisk uppdragningsutrustning. Ofta erhåller man också väl små prover med den mindre provtagaren varför man om jorden är stenig eller grusig eller om laboratorieundersökning i större omfattning skall göras på proverna bör välja den grövre typen.

Vid protokollföring, som ofta utförs på särskild blankett (11), noteras noga provtagningsdjup och preliminär jordartsbestämning samt övriga förhållanden som kan vara av betydelse för bedömningen av jordprovet.

SPT-provtagning

SPT-provtagning är en av de utomlands mest använda provtagningsmetoderna. Här tar man vid sonderingen punktviss upp prov av den genomsonderade jorden, jfr SPT-sondering. Provtagaren, som är delbar på längden, har en inre diameter på 35 mm och kan förses med provtagningshylsa. I eggen kan också en slutare anbringas, Fig. 20. Provtagaren skarvas med \varnothing 32 mm stänger och drivs med hejarbock.

Provtagning-sondering med denna metod fordrar tillgång till ett öppet borrhål eventuellt stabiliserat med foderrör, tung borrhätska eller vatten.

Vid provtagning används blankett för SPT-sondering och redovisning på ritning utförs enl. SGF standard (4).

Skruvprovtagning

Skruvprovtagare torde vara den i Sverige mest använda metoden för störd kontinuerlig provtagning i kohesions- och siltjord men även i sand över grundvattenytan. Den har här ersatt den tidigare ofta använda spadborren. Provtagaren består av en spetsad stålstång som försetts med en spiralläns. Längd och ytterdiameter varierar mellan 0,25 och

1,0 m respektive 36 och 100 mm. Provtagaren skarvas normalt med sondstänger \varnothing 22 eller \varnothing 25 mm. Försök har gjorts med större skruvar vilket ökar provmängden och ger en säkrare jordartsbedömning.

Provtagaren drivs ned genom vridning av stängeln till provtagningsdjupet varefter den dras upp. Härvid blir jord från provtagningsnivån kvar på flänsarna utom längs periferin där avsättning av annan jord kan ske under uppdragningen. Neddrivning av skruvprovtagare kan göras manuellt, Fig. 35 eller med motorsond Fig. 36. Ofta används också de hydrauliskt drivna borrhögarna som finns monterade på bandvagnar och traktorer, jfr Fig. 2 och 6.

Efter uppdragning av provtagaren rensas den från jord längs periferin. Jordlagerföljden protokollförs vid provnivån varvid man noga skall ange djupet till jordlagergränser. Representativa prover uttas och

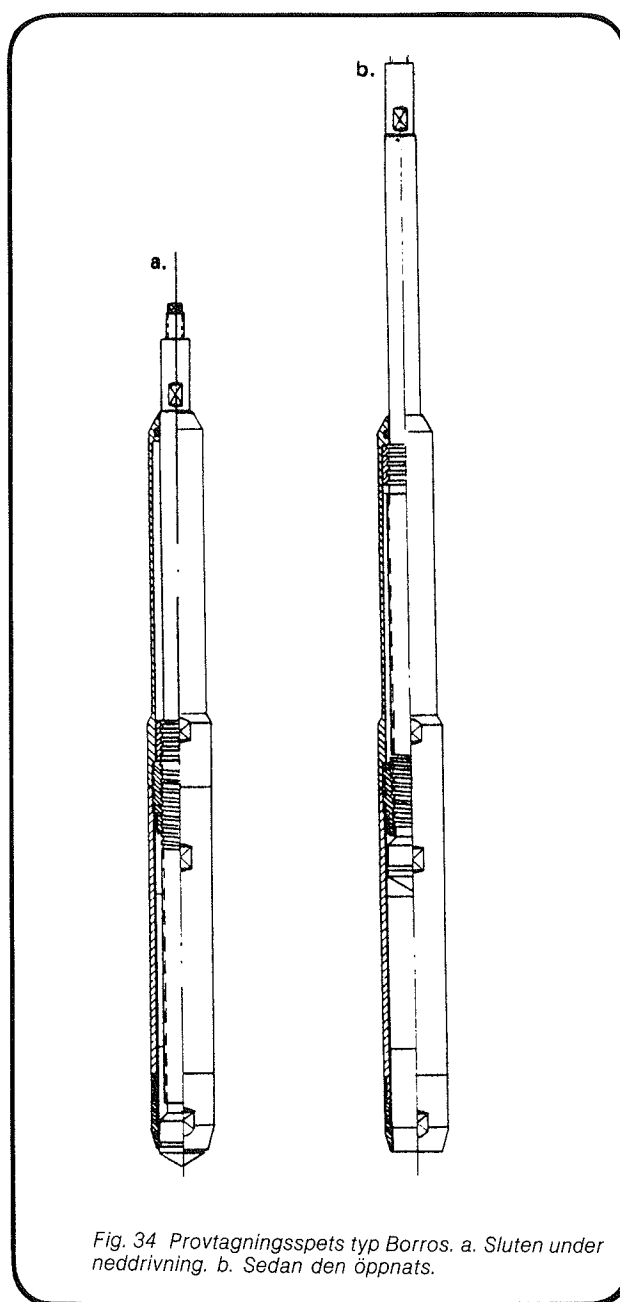


Fig. 34 Provtagningsspets typ Borros. a. Slutet under neddrivning. b. Sedan den öppnats.

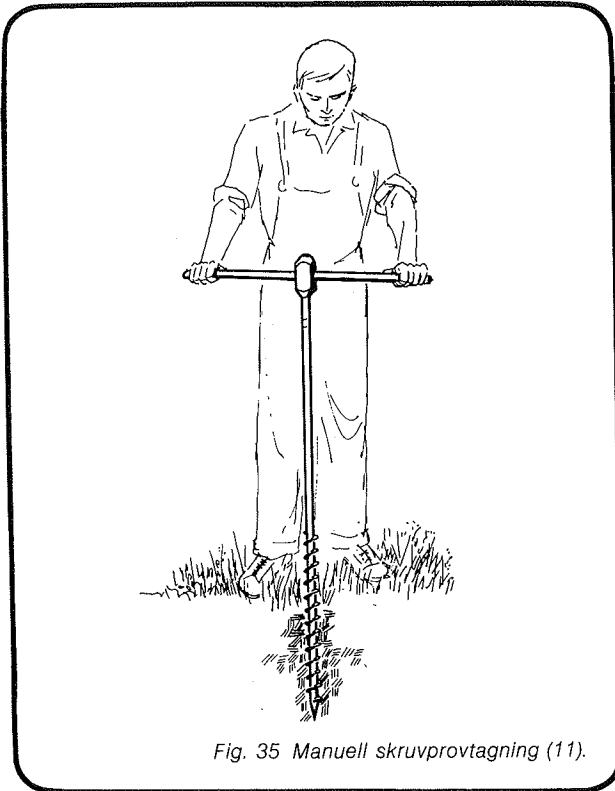


Fig. 35 Manuell skruvprovtagning (11).

läggs i plastpåsar. För att ej onödigt störa jordens struktur kan man använda tråдавskärare.

Fördelen med skruvprovtagning är att man snabbt kan få en kontinuerlig bild av jordlagerföljden. I fast jord tar provtagningen ofta längre tid beroende på att man ej kan dra loss prov i hela skruvens längd utan måste nöja sig med kortare delar. En nackdel är att man inte kan ta prov i stritt material under grundvattenytan eftersom jorden sköljs av flänsarna under uppdragningen. Risken att förlora provet under uppdragningen kan minskas om man minskar undertrycket under provtagaren genom att pumpa en borrhväska av bentonitsuspension genom provtagaren. Härför erfordras speciell skruvprovtagare, Fig. 37.

En speciell typ av skruvprovtagare är den så kallade augerborren som utgörs av en stång med kontinuerlig skruvfläns över hela längden. Den provtagaren roteras med större hastighet än vad som motsvarar skruvflänsens stigning. Härigenom kommer skruven att tjänstgöra som en transportör för det vid spetsen lösgjorda materialet. Vid denna kontinuerliga borrhning kan det vara svårt att avgöra från vilken nivå ett visst jordprov kommer.

Tubkärnprovtagning

Tubkärnprovtagare, som främst är avsedd för kontinuerlig störd provtagning i friktionsjord, kan användas även under grundvattenytan. Utrustningen består av skarvbara ytterrör $\varnothing 76$ mm med slagdyna och en öppen kraftig spets (egg) samt skarvbara inrerör $\varnothing 64$ mm som nederst förses med en provtub. Provtuben är i sin nedre ände uppskuren i flikar som kan bockas inåt genom att de slås mot eggens inre övre del.

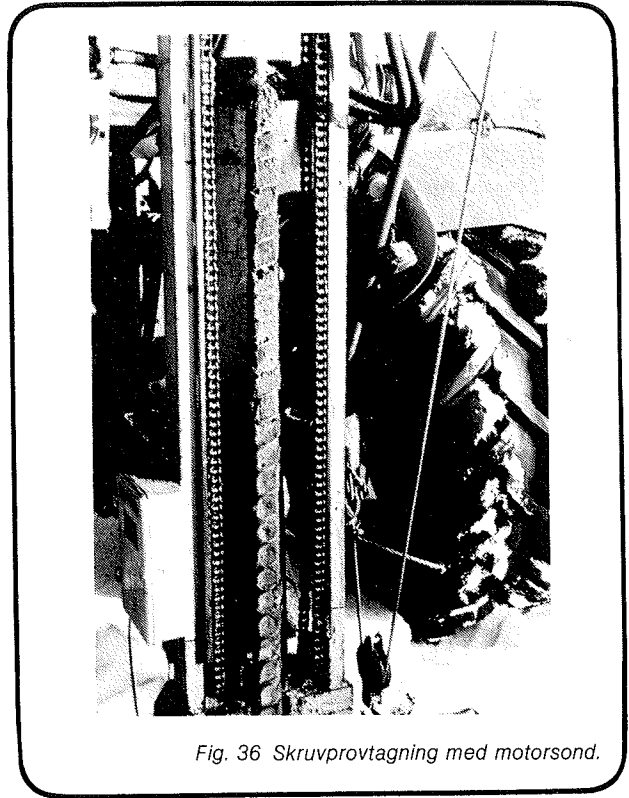
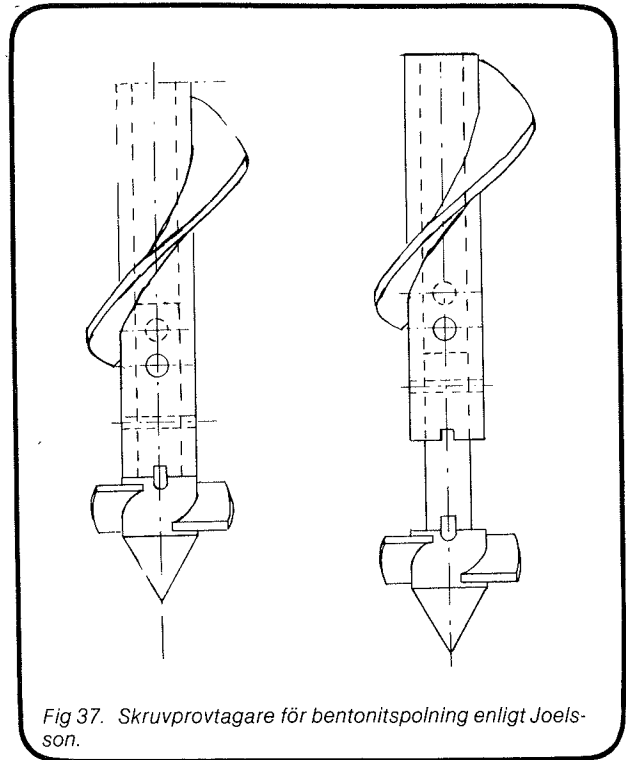


Fig. 36 Skruvprovtagning med motorsond.



Tubkärnprovtagaren neddrivs med hjälp av en stor motorbock med fallhejare varvid båda rörssystemen drivs samtidigt. Härvid fylls provtuben med en jordkärna. När provtuben fyllts tas denna upp med inrerören. För att inte provet skall rasa ur provtuben sluts denna genom att flikarna bockas inåt när tuben slås ned ett stycke i förhållande till ytterröret. Jfr Fig. 38. Under neddrivningen kontrolleras med en sondstång att provtuben fylls.

I samband med protokollföring är det viktigt att man anger spetsens djup före och efter fyllning av provtuben eftersom detta motsvarar provtagningsdjupet. Detta motsvarar inte alltid provets längd eftersom jorden packas in i röret eller att grus och sten tillfälligt sluter eggen.

En fördel med tubkärnprovtagaren är att ytterröret också kan användas som foderrör för annan undersökning när innerröret och provtuben tagits upp. Detta kan vara aktuellt vid borring genom t ex fyllningsjord eller svallad jord där man vill ta prov eller göra vingborring i underliggande lös kohesionsjord eller t ex utföra jordbergsondering för kontroll av påträffat stopp.

Provtagning med moränprovtagare

Under senare år har också utvecklats en s k moränprovtagare som kan användas för tagning av störda prover i friktionsjord även om den innehåller sten och block. Fig. 39. Provtagaren består av ett antal rör \varnothing 60, som skarvas med invändiga muffar. Det nedersta borröret är försett med en ringborrkrona med $\varnothing = 71,5$ mm. Inuti borröret finns en inre borrkrona monterad på en spindel. Denna borrkrona hålls under neddrivning i framskjutet läge något under ringborrkronan. Med hjälp av spindeln och en innerstång kan innerkronan vid provtagning dras tillbaka. Provtagaren kan i nedre änden förses med en kärnfångare (slutare).

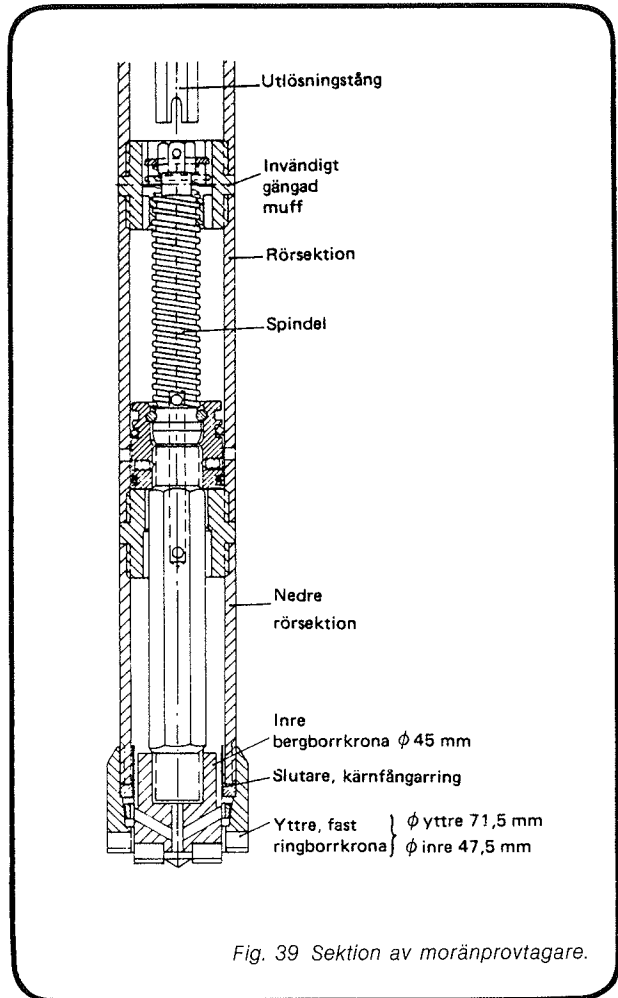


Fig. 39 Sektion av moränprovtagare.

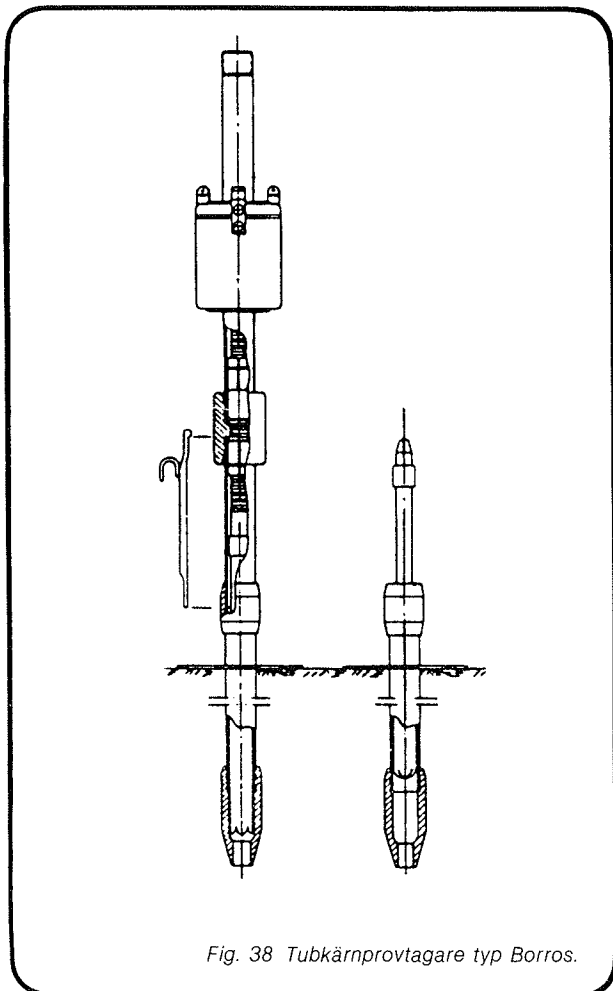


Fig. 38 Tubkärnprovtagare typ Borros.

Neddrivningen utförs med t ex hydraulisk slagborrmaskin monterad på bandvagn typ Borros. Vid neddrivningen erfordras spolning med luft eller vatten för transport av avverkat material. Under neddrivningen sker spolning genom kronan men under provtagningen sker spolning genom borrörets väggar 0,5 m över spetsen.

Undersökningar (46) har visat att moränprovtagaren väl kan användas för tagning av störda prover i morän, grus, sand, mo och lera såväl över som under grundvattenytan. Under provtagningen fås ytterst ett tunt skikt nedkrossat material som bör tas bort före eventuell siktanalys.

Vibrationsprovtagning

För tagning av störda prover från båt under bottnen i hav och sjö finns en vibrationsprovtagare, som kan ta upp till 5,5 m långa jordprover (47). Provtagaren består av yttorrör \varnothing 76 mm med en skäregg som kan förses med en kärnfångare. I ytterröret sätts ett provtagningsrör av plast med \varnothing 56 mm.

Provtagaren drivs ned med en vibrator samtidigt som spolvatten pressas något utanför eggen och uppåt längs ytterröret. Som motvikt vid neddrivningen används en bottenplatta som ställs ned på bottnen före provtagningen. Denna hålls upprätt av en undervattensboj som också styr provtagaren.

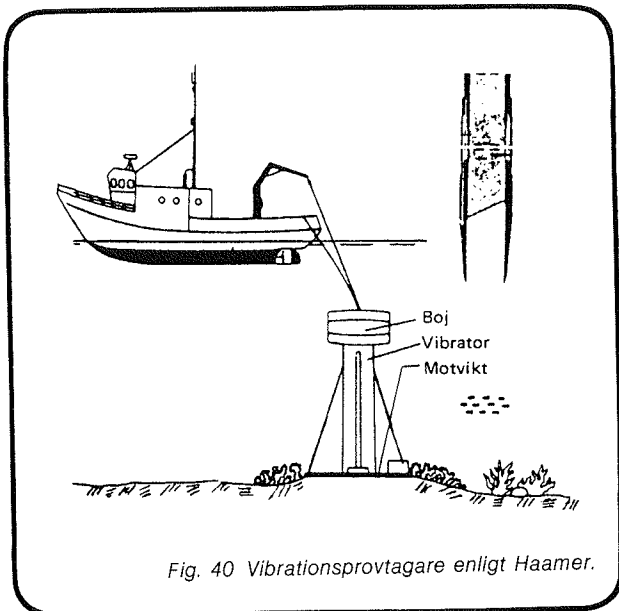


Fig. 40 Vibrationsprovtagare enligt Haamer.

OMRÖRD PROVTAGNING

Vid omrörd provtagning kommer såväl jordens mekaniska egenskaper som dess struktur att förändras. Proverna kan användas för bestämning av jordart samt för laboratorieundersökning av kornstorlek, plasticitetstal, tjälfarlighet och vattenkvot om jorden i provet är någorlunda homogen. I annat fall måste flera delprover av någorlunda ensartad jord tas ut och analyseras. Detta kan medföra viss osäkerhet i jordklassificeringen. Omrörda prover kan tas med ett flertal olika provtagare som spadprovtagare, jalusiprovtagare, sektionsprovtagare och kannprovtagare.

Spadprovtagning

Spadprovtagaren var en av de första provtagningsdon som utvecklades för kontinuerlig provtagning på större djup under markytan. Den kan användas för alla stenfria jordar över grundvattenytan. Dock är neddrivningen i mycket fast lera svår. Provtagaren består av två mot varandra vända spadar som är uppslitsade nedtill så att de vid rotation av provtagaren skär loss jord från hålets botten, Fig. 41. Spadkanterna, som är något snedställda vidgar sedan hålet under den fortsatta neddrivningen. Spadprovtagare finns i dimensioner \varnothing 75-200 mm. Som förlängningsstänger används normalt skarvstänger \varnothing 22 mm och för vridning svängel, som för manuell viktsond.

Även spadprovtagarens användning begränsas av att borrhålet måste stå öppet. Detta gör den svår att använda i sand och grus under grundvattenytan. En nackdel är också att jord som rasar ned från borrhållsväggen lägger sig i provtagaren och där kan blanda sig med det nya jordprovet. Härigenom ökar osäkerheten i jordlagerföljdsbestämningen. Normalt bör man ej räkna med större provtagningsdjup än ca 5 m med detta redskap.

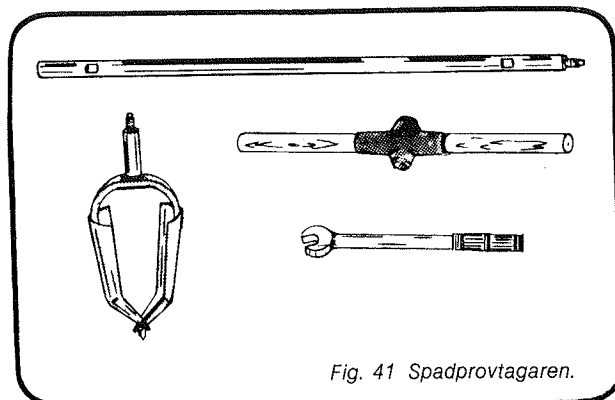


Fig. 41 Spadprovtagaren.

Jalusiprovtagning

Jalusiprovtagare används främst för kontinuerlig provtagning i fast friktionsjord och fyllning. Provtagaren består av kraftiga skarvbara stångar \varnothing 60 mm, som från sidan försetts med en serie urborrnin-gar \varnothing 30 mm, Fig. 42. Dessa hål täcks med jalusier under neddrivningen till lägsta provtagningsnivån. Neddrivningen görs med t ex Borros stora hejarbock. Sedan valt djup nåtts dras jalusierna upp varefter man driver ned en matarplatta och en serie täckplattor. Matarplattan är nedåt utformad så att den driver in jord i de urborrade hålen, som därefter täcks. Sedan matarplattan drivits till spetsen dras hela provtagaren upp och representativa prover tas ur provtagaren och läggs i plastpåsar.

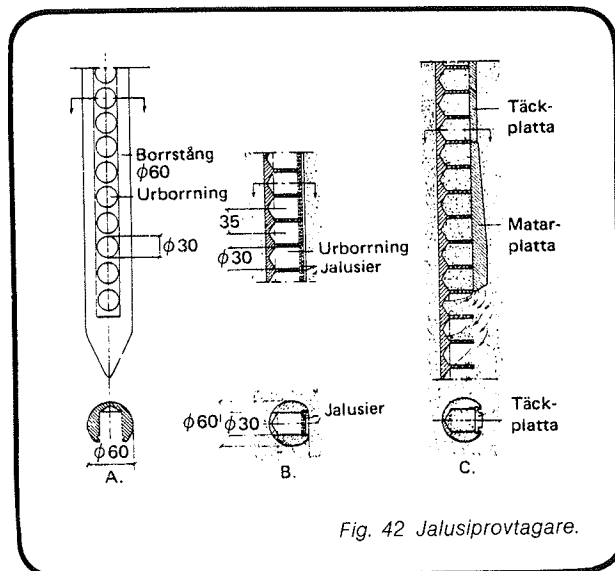


Fig. 42 Jalusiprovtagare.

En fördel med jalusiprovtagaren är att man får en nära kontinuerlig provtagning eftersom hålen ligger så tätt i stängerna och att den kan användas även under grundvattenytan. På grund av de små hålen får man små prov från varje skikt och större partiklar kan ej tas upp. I något fall har man också konstaterat att man ej fått med prov av fast torv som tydligen på grund av matarplattans form ej förts in i provtagaren. Tyvärr är jalusiprovtagning också relativt kostsam beroende på de många arbetsmomenten och den förhållandevis dyra utrustningen.

Sektionsprovtagning

Sektionsprovtagaren är en variant av jalusiprovtagaren, Fig. 43, och arbetar efter samma princip och har även samma användningsområde. I detta fall är dock provtagningsstången rund och provtagningshålen (urborrningarna) är placerade korsvis varigenom man får större provvolym. Under neddrivningen är provtagaren täckt med gängade beklädnadsrör, som dras upp och ersätts med oskarvat inmatningsrör som är speciellt utformat i sin nedre ände för inmatning av prov.

Kannprovtagning

Vid intermittent provtagning i fastare jord speciellt under grundvattenytan är gruskannprovtagare en ofta använd utrustning. Denna provtagare utvecklades för lång tid sedan vid SJ främst för provtagning i grus. Denna provtagare har en diameter på \varnothing_y 126 mm och \varnothing_i 56 mm och drivs ned med trycklufthejare.

De vanligast förekommande provtagarna av denna typ består av en robust provtagningsspets där provet matas in i provtagaren från sidan under det att provtagaren vrids runt, Fig. 44. För att skrapa in jord i provtagaren är den utvändigt försedd med en inmatningsläpp. Under neddrivningen till provtagningsnivån är öppningen i provtagaren liksom vid uppdragningen stängd. Provtagaren i Borros utformning finns i två storlekar med innerdiameter 35 respektive 50 mm. Den mindre är avsedd för skarvstänger \varnothing 25 mm och nedslagning med motorslagborrmaskin medan den större är avsedd för hejarborrstänger \varnothing 32 mm och neddrivning med hejarbock.

En annan typ av gruskannprovtagare som utvecklats av Nyttoverktyg, består av en spetsdel med slits

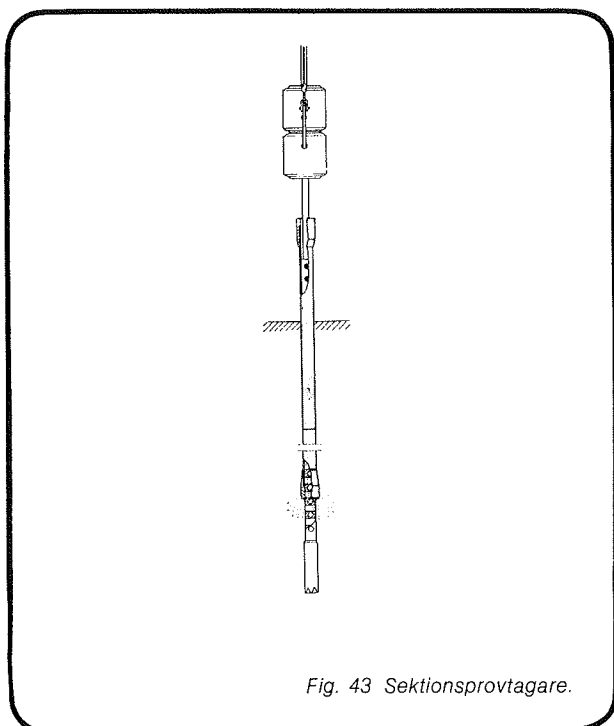


Fig. 43 Sektionsprovtagare.

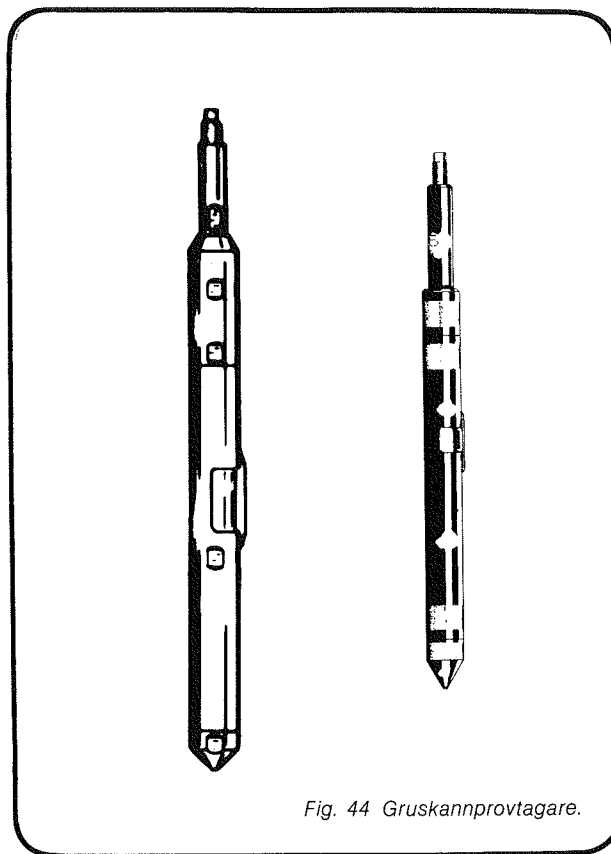


Fig. 44 Gruskannprovtagare.

och en utvändigt inmatningsläpp. Spetsen förlängs med skarvrör med utvändiga muffar \varnothing_y 50 mm. Provet samlas upp i en cylinderformad kann, som innan slitsen öppnas sänks ned i spetsen. Därefter dras provkannen upp och töms och provtagningsröret kan hejas vidare till nästa provtagningsnivå.

Erfarenheterna visar att man med kannprovtagare ofta får små kraftigt omrörda prover som under grundvattenytan ofta blandas med mycket vatten så att det är svårt att identifiera jordarten. Detta gäller speciellt den mindre provtagaren \varnothing 35 mm. Vidare har man noterat att man till följd av det stora nedslagningsarbetet kan få en viss nedkrossning av jorden närmast provtagaren så att kornstorleksfördelningen på det inmatade provet kan förvrängas. Man kan ej heller räkna med att grövre gruskorn matas in i provtagaren. På grund av dessa nackdelar bör man om möjligt i första hand välja t ex provtagningsspetsar, tubkärnborr, moränprovtagare eller andra frontmatade provtagare.

Provtagare av kanntyp finns också för intermittent provtagning i torv, dy och gyttja samt lös lera, mosskannprovtagare, Fig. 45. Provtagaren består av en spetsdel med skruvformad spets och en betydligt större inmatningsläpp än på gruskannprovtagaren. Skarvstängerna är av speciell typ med låssprintar eftersom provtagaren öppnas och sluts genom att vrida svängeln ca $1/4$ varv åt ena respektive andra hållet. Neddrivningen sker för hand. Konstruktionen är utformad för mycket lös till lös jord varför den ej tål neddrivning med slag. Den har dock använts för provtagning i lös stenfri friktionsjord, silt och sand under grundvattenytan.

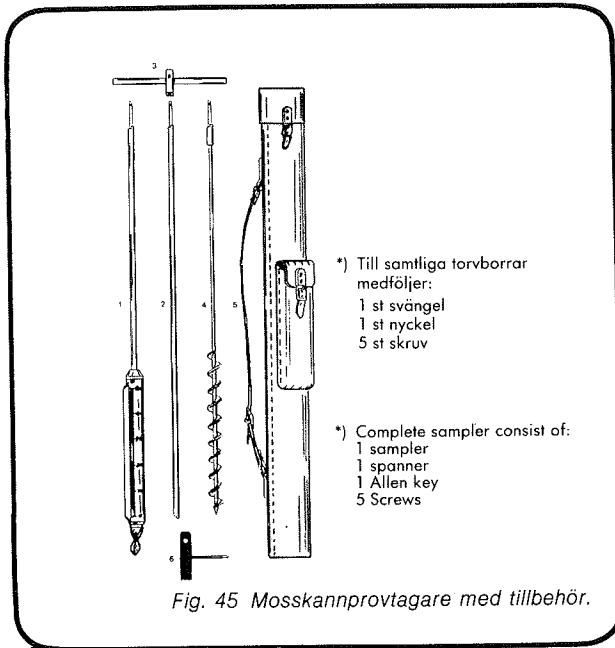


Fig. 45 Mosskannprovtagare med tillbehör.

Andra typer av kannprovtagare för lös jord är Hillerprovtagaren (48) och Ryssprovtagaren (49).

FODERRÖRSBORRNING MED PROVTAGNING

Förutom de ovan beskrivna provtagningsmetoderna används i samband med provtagning en serie olika metoder för foderrörsdrivning där provtagning intermitterant kan utföras i botten av borrhål alternativt kan uppspolat jordmaterial omhändertaras som jordprov. Denna senare metod ger dock en osäker bestämning beroende på risken för bortspolning av finkornig jord.

Vid spolborrning driver man ned ett foderrör med enbart vattenspolning genom röret så att jorden spolas upp utvändigt. Denna metod kan användas huvudsakligen i siltig-sandig jord. Om spolning an-

vänds för att luckra upp jord vid spetsen och spola det lösgjorda materialet inuti röret kan jord med partikelstorlek upp till 15 mm genomborras. Härvid måste röret dock drivas med t ex hejarslag. För provtagning används normalt öppna provtagare t ex provtagningsspets. När spolningen avbryts för provtagning sedimenterar i röret kvarvarande jordpartiklar på botten. Detta måste beaktas vid provtagningen så att det ej medtas i det ordinarie provet som skall tas under rörspetsens nivå.

Rotationsborrning

Vid rotationsborrning drivs foderrör ned medelst rotation och samtidig uppspolning av jordmaterial i eller utanför borrhålet. Som spolmedium används vatten eller tung borrhväska t ex bentonitsuspension.

Stötborrning

Stötborrning med fallmejsel som tidigare använts för bl a brunnsborrning kan också användas vid provtagning inom foderrör. Vid denna metod avverkas jorden i hålet med en tung fallmejsel som får falla ca 0,5 m i röret. Det lösgjorda och krossade materialet spolas upp med vatten eller tas upp med en speciell provhämtare.

För att kunna utföra provtagning under stenig fyllning eller i stenig eller blockig jord erfordras drivning av foderrör med pneumatisk eller hydraulisk bormaskin. För detta finns ett antal olika specialutrustningar som skiljer sig beträffande foderrörets och den invändiga borrhålets utformning. Ibland används borrhålets krona även på foderröret (t ex Lindö) medan man vid andra (t ex Exler och Odex) har en excentrisk borrhålets krona som rymmer upp ett hål under foderrörets kant, Fig. 46. För system Odex finns vid stora borrhål (ø 130 mm) en variant med s k sänkhammare där bormaskinen arbetar nere i borrhålet nära borrhålets krona. Under neddrivningen spolas det avverade jordmaterialet upp med hjälp av luft, vat-

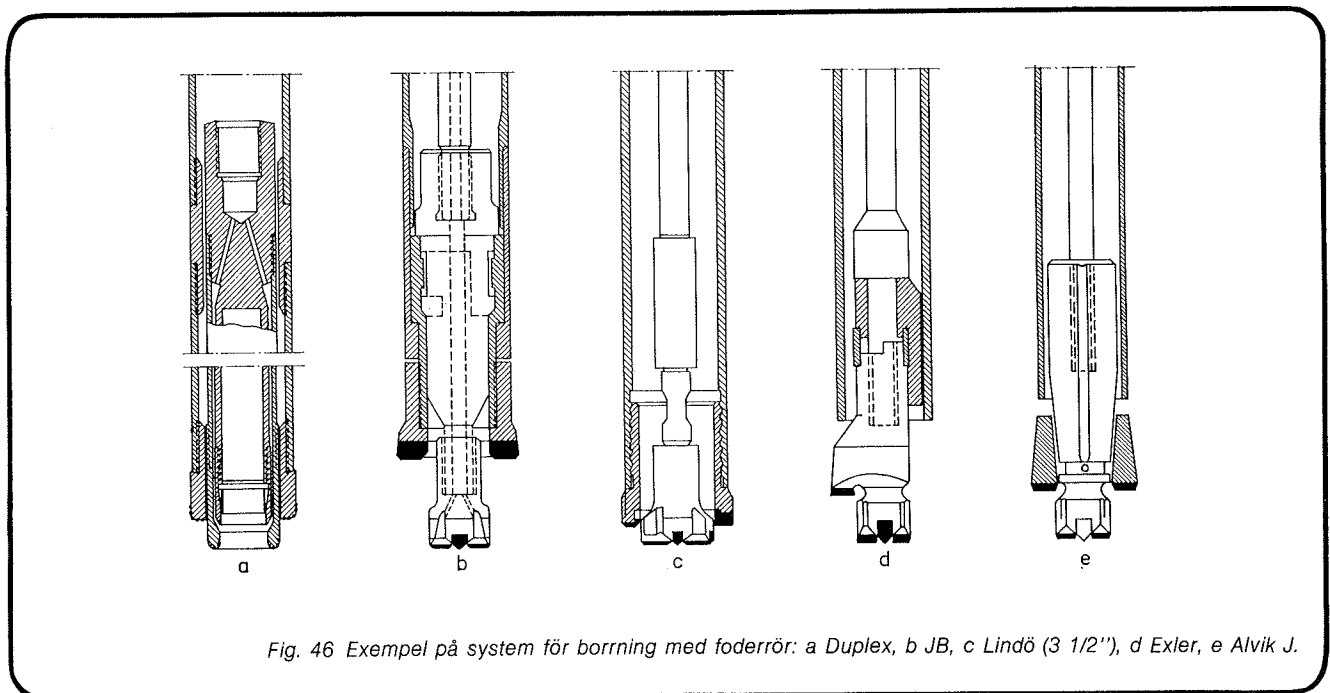


Fig. 46 Exempel på system för borrning med foderrör: a Duplex, b JB, c Lindö (3 1/2''), d Exler, e Alvik J.

ten eller skum. Sedan borrhöret drivits till aktuell provtagningsnivå dras den inre borrhången upp och provtagning kan göras. Härvid bör man sträva efter att ta prov under rörspetsen så att minsta påverkan av borringen erhålls.

Specialborrtrusningar kräver normalt tillgång till tung borrhörtrusning, varför undersökningarna blir kostsamma. Till följd härav underlåter man ofta att ta prov i svårborrad jord vilket kan få betydande konsekvenser vid t ex schaktning, spontning och pålning. För att minska kostnaderna har moderna allroundborrmaskiner av typ Borros och Geotech försetts med hydrauliska slagborrmaskiner så att man kan driva t ex Odex. En alternativ utveckling utgör den av bl a Borros utvecklade moränprovtagaren.

En omfattande redovisning av de tunga borrhörmetoderna och deras utveckling har sammanställts av Andersson (51).

HANTERING OCH TRANSPORT AV JORDPROVER

Vid tagning av ostörda prover är det av betydelse att provtagaren och jordprover efter uppdragning han-

teras försiktigt så att de ej utsätts för t ex stötar. För att undvika uttorkning skall provhylsorna snarast förses med plastmellanlägg och tätslutande lock. De skall därefter skyddas mot uttorkning genom värme och mot frost (39), (50). Vid transport används därför speciella lådor som är isolerade och bl a dämpar uppkommande vibrationer. Om jorden bedöms ha hög sensitivitet bör proverna ej sändas med allmän transport utan fraktas i lådan på ett mjukt säte i bil.

För störda och omrörda prover gäller på motsvarande sätt att de ej får utsättas för uttorkning eller frost eftersom vissa jordars egenskaper härvid ändras. I närvaro av luft oxideras också en del beståndsdelar speciellt i organisk jord varför de kemiska egenskaperna i viss mån ändras. Detta kan ha betydelse vid t ex bestämning av jords korrosivitet. Man bör därför vid t ex provförvaring i plastpåsar, som används t ex vid skruvprovtagning, innan man tillsluter påsen, pressa ut onödig luft. Man bör dock inte pressa sönder eventuella jordklumpar som är av betydelse när jordens struktur senare skall bedömas på laboratorium.

In situ-provningar

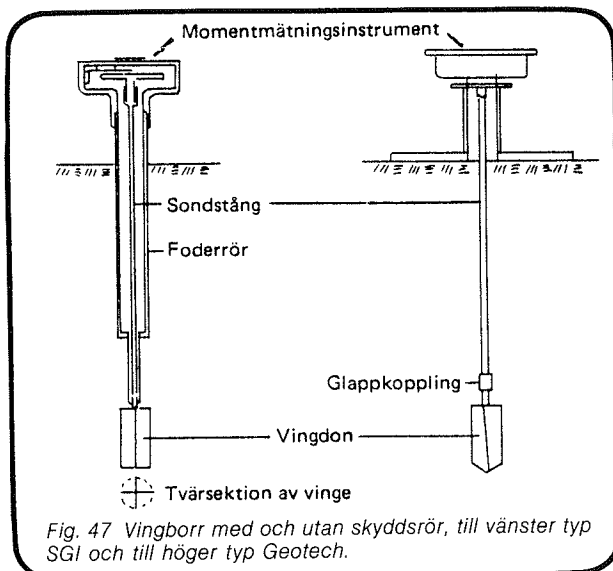
ALLMÄNT

Vid in situ-provning av jord söker man bestämma jordens egenskaper t ex hållfasthets- och deformationsegenskaper på en mer direkt väg än genom sondering eller upptagning av jordprover med efterföljande laboratorieundersökning. Denna bestämning görs också direkt i jorden och man räknar ofta med att störningen i jorden blir mindre än om prover skall tas och undersökas på laboratorium. Vidare provas ofta en större jordvolym än vid t ex sondering eller laboratorieprov. Under senare år har det också blivit allt mer nödvändigt att utföra spänningsmätning direkt i jord för t ex bedömning av naturliga slänters stabilitet samt för att kunna använda de förfinade beräkningsmetoder som framkommit för olika slags analyser. Man kan förvänta sig en ökad användning av in situ-provningsmetoder också av den anledningen att mer sofistikerade konstruktioner kräver mer detaljerad kunskap om jords egenskaper.

Gemensamt för alla in situ-provningsmetoder gäller som för t ex sondering att den provade jordens sammansättning måste bestämmas genom provtagning för att resultaten rätt skall kunna utvärderas och analyseras.

VINGPROVNING

Skjuvhållfasthet hos kohesionsjord bestäms rutinmässigt i fält med vingborr. Denna består nedtill av ett vingdon, två vinkelrätt mot varandra sammanfogade plåtar och upptill av ett mätinstrument där man kan avläsa eller registrera det på vingen applicerade vridmomentet. Vingdon finns i fyra olika storlekar (40x80, 55x110, 65x130 och 80x160 mm) för att såväl fastare som lösare jord skall kunna provas med samma instrument. Vingdon och mätinstrument kopplas samman med ett antal sondstänger. Principiellt förekommer två olika typer av vingborr, Fig. 47. Vid den typ som utvecklats av SGI skyddas sondstängens från friktion mot jorden med hjälp av

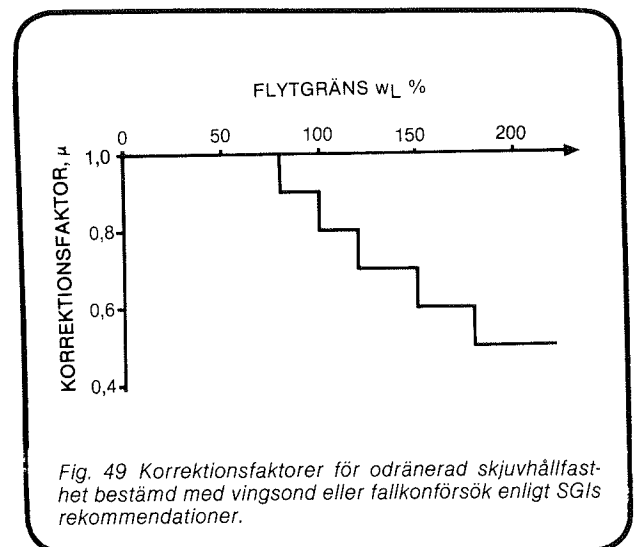
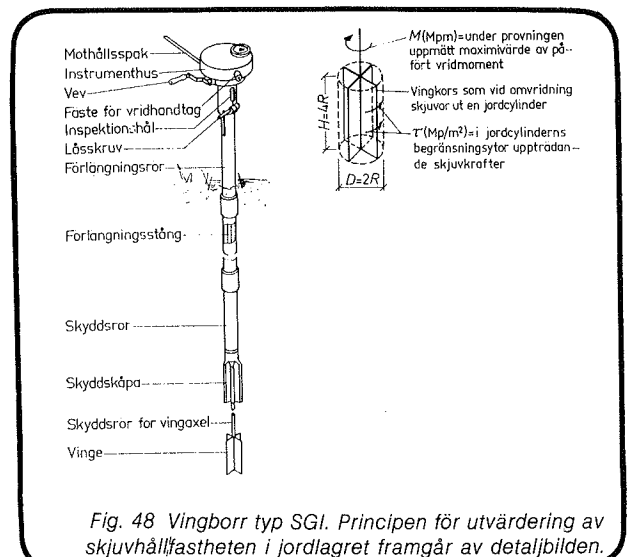


ett skyddsrör samtidigt som vingdonet under neddrivningen skyddas med en skyddskåpa, Fig. 48. Vid vingborr typ Geotech kan istället mantelfriktionen på stängens mätas genom en glappkoppling som monteras ovanför vingdonet.

Vid provning drivs vingdonet ned till den aktuella provningsnivån varefter vingdonet successivt belastas med ett vridmoment tills brott uppstår i den av vingdonet omskrivande cylindern. Det erhållna maximala vridmomentet M_{max} motsvarar då en genomsnittlig skjuvhållfasthet τ_{fu} enligt uttrycket

$$\tau_{fu} = \frac{6}{7} \cdot \frac{M_{max}}{\pi D^3}$$

där D är vingdonets tvärrmått och höjden H är lika med $2D$. Formeln förutsätter att jorden når skjuvhållfastheten samtidigt längs hela cylinderytan dvs även längs övre och undre begränsningsytor. Detta är kanske inte alltid fallet enligt Wiesel (52). Den enligt ovan bestämda odränerade skjuvhållfastheten



τ_{fU} skall med hänsyn till krypbrott reduceras om jordens flytgräns överstiger 80 %. Erfarenhetsmässigt har de i Fig. 49 redovisade korrektionsfaktorerna visat sig lämpliga.

Vingprovning utförs normalt på t ex varje 1,0 m under markytan eller vid på förhand utvalda nivåer där t ex ett speciellt löst skikt påträffats vid sondering.

Vid Vingborr typ SGI (53) pressas vingborren med vingdonet indraget i skyddskåpan ned till en nivå något över provningsnivån. Denna neddrivning kan ske manuellt i mycket lös jord eller med kedje- eller valsekraft som förankras väl vid markytan. Numera används för nedpressningen vanligen de fordonsburna all-roundborrmaskinerna även för detta arbete. Efter nedpressning till 0,4 m över provningsnivån trycks vingdonet ut 0,4 m så att provning kan ske i nära ostörd jord. Därefter fästs vingborrinstrumentet vid foderrörets övre ände. Med en vev kan ett vridmoment påföras vingen och successivt ökas. Det applicerade momentet indikeras på en skala med släpvisare. Normalt avläses och protokollförs endast maxvärdet M_{max} . Detta värde kan med en kalibreringstabell för respektive vingdon översättas till bruttoskjuvhållfasthet, τ_{fU} . För att bestämma jordens omrörda skjuvhållfasthet eller sensitivitet vrids vingen runt ca 20 varv varefter brottmomentet (M_{min}) för omrörd jord bestäms. Sensitiviteten S_t beräknas som förhållandet mellan de båda uppmätta momentvärdena $S_t = \frac{M_{max}}{M_{min}}$.

mätningen slutförts dras vingdonet upp i skyddskåpan och vingborren kan pressas vidare till nästa provningsnivå.

Vid vingborr typ Geotech, Fig. 50 sker neddrivningen också med t ex vevkraft eller hydrauliskt drivet borrhöggregat direkt till provningsnivån. Sedan man nått denna kontrolleras att glappkopplingen är helt tillbakavriden varefter påförandet av vridmomentet kan påbörjas. Härvid aktiveras först stängen och vrids en vinkel motsvarande ett glapp på 15° plus torsion i stängen. Med det registrerande instru-

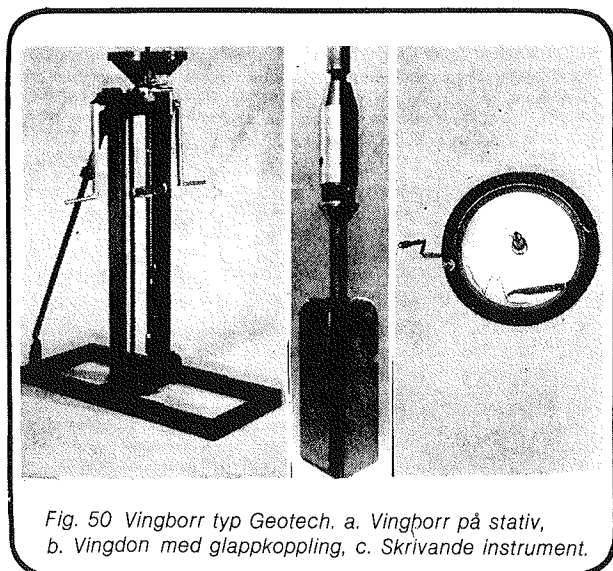


Fig. 50 Vingborr typ Geotech. a. Vingborr på stativ, b. Vingdon med glappkoppling, c. Skrivande instrument.

mentet mäts det moment som erfordras för att övervinna friktionen längs stängen. Vingdonet belastas och momentet ökas tills brott uppstår. Sensitiviteten bestäms på motsvarande sätt som för SGI-vingborren men man måste vara noga med att bestämma stångfriktionen även för det omrörda fallet. Exempel på ostört och omrört prov med vingborr visas i Fig. 51. M_{max} enligt ovan beräknas som skillnaden mellan totalt maxvärde för ostört prov och momentet som erfordras för att vrida enbart stängen, medan M_{min} bestäms på samma sätt för omrört prov. Instrumentet kalibreras så att man för varje vingdon får en multiplikationsfaktor för det uppmätta momentet i mm. På så sätt erhålls bruttoskjuvhållfastheten τ_{fU} direkt i kPa.

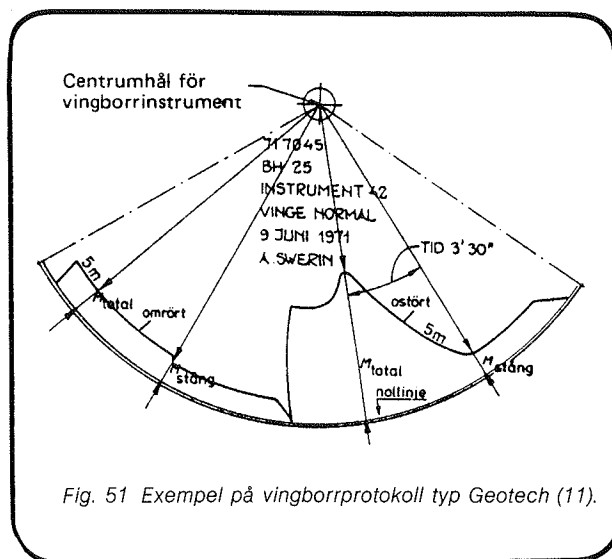


Fig. 51 Exempel på vingborrprotokoll typ Geotech (11).

Ett flertal olika faktorer påverkar den uppmätta skjuvhållfastheten såsom tid mellan nedtryckning av vingdon och provning, tid till brott, vingbladens tjocklek etc. Omfattande undersökningar har gjorts av Wiesel (52) och Torstensson (54). Torstenssons undersökning visade bl a att hållfasthetsvärdena vid låg deformationshastighet (10 dygn till brott) stämde väl med de reducerade skjuvhållfasthetsvärdena enligt ovan. På grund av dessa variationsmöjligheter måste vingprovning utföras på ett väl definierat sätt enligt de anvisningar som finns i (11) och (50).

Redovisade skillnader mellan de olika vingborrarna innebär för- och nackdelar. Geotech's vingdon (CTH-vinge) är något kraftigare än de normala vingarna för SGI-typen varför de kan medföra en kraftigare störning. Exempel på jämförelse mellan provningar med de båda vingborrarna visas i Fig. 52. Likaså medför avsaknaden av skyddskåpa en risk för att fast lera häftar vid vingdonet under neddrivningen i lösare lera varigenom störningen kan bli avsevärd (55). För att eliminera denna risk måste en

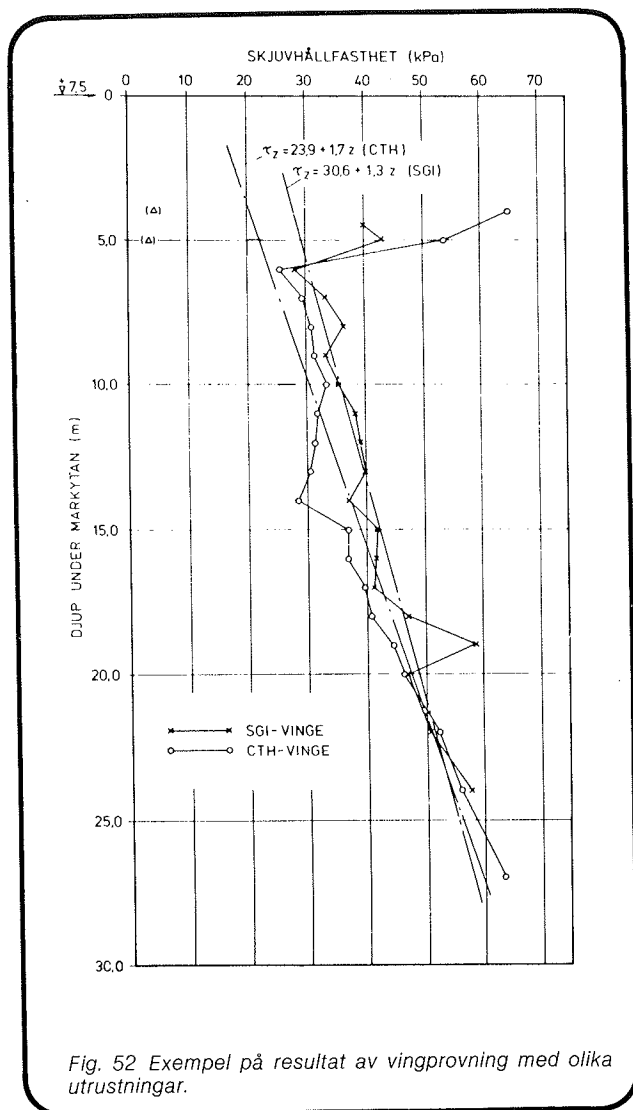


Fig. 52 Exempel på resultat av vingprovning med olika utrustningar.

noggrann förborring genom förekommande torrskorpa göras. En fördel med Geotech's vingborr är att provningen går fortare och undersökningen därmed blir billigare. Vidare kan stången köras rakt genom instrumentet vilket gör att man kan stanna och göra prov på valfri nivå utan att instrumentet måste lyftas av och på för varje provning.

Ytterligare en fördel är att man får hela kraftdeformationsförloppet uppritat, vilket är av stort värde vid bedömning av resultaten eftersom kurvans form beror av jordens sammansättning (krypegenskaper). Vid noggranna undersökningar rekommenderas därför att man använder vingborr typ SGI med instrument typ Geotech och att mätinstrumentet kalibreras före och efter användning.

Förutom de ovan beskrivna vingborrarna förekommer ett antal varianter på marknaden. SGI har utvecklat en miniatyrvingborr som används vid kontroll av skjuvhållfastheten i schaktväggar (56) medan Norges geotekniska institut utvecklat den så kallade Lommevingborren för kontroll av skjuvhållfastheten på större djup med små vingdon (16x32—25x50 mm). Härvid används en speciell momentnyckel för bestämning av maximalt erforderligt vridmoment (57). Motsvarande teknik har använts av Adestam (42)

och Borros som gjort en kraftigare variant för normalt fältbruk. Vid den senare erhålls en registrering av det maximala momentet vid ostört och omrört prov samt för stågfriktion. Även på denna modell används en glappkoppling för bestämning av friktionen på förlängningsstångerna.

Förutom vingborr har också en speciellt utformad skruvborr (A-sond) använts för bestämning av lerors skjuvhållfasthet. En jordskrub har delats med en axiell glappkoppling. Efter neddrivning av skruven till provnivån dras den upp och kraften mäts. Först mäts erforderlig dragkraft för den övre skruvdel och därefter för hela skruven. Ur skillnaden mellan dessa krafter kan skjuvhållfastheten för jorden i den omskrivande cylinderytan beräknas (58).

PRESSOMETERPROVNING

Pressometer används i ökad utsträckning för bestämning av hållfasthets- och deformationsegenskaper i främst mycket fast överkonsoliderad lera samt i silt och sand. Speciella utrustningar kan också användas i sedimentära bergarter, morän och grus. Den vanligaste pressometern, som utvecklades på 1950-talet av Menard i Frankrike, består av en provkropp, gasbehållare, vattenbehållare (volym-mätare), manometrar och slangar mellan olika delar, Fig. 53 och 54.

Provkroppen består av en mätcell av gummi, som kan expanderas under vattentryck, och två styrceller över och under mätcellen. Dessa kan expanderas med ett gastryck så att man erhåller en cylindrisk expansion av mätcellen (ett plant spänningstillstånd erhålls). För att inte gummimembranen skall skadas under neddrivning och expansion kan skydd av stålfolieband fästas utanpå provkroppen.

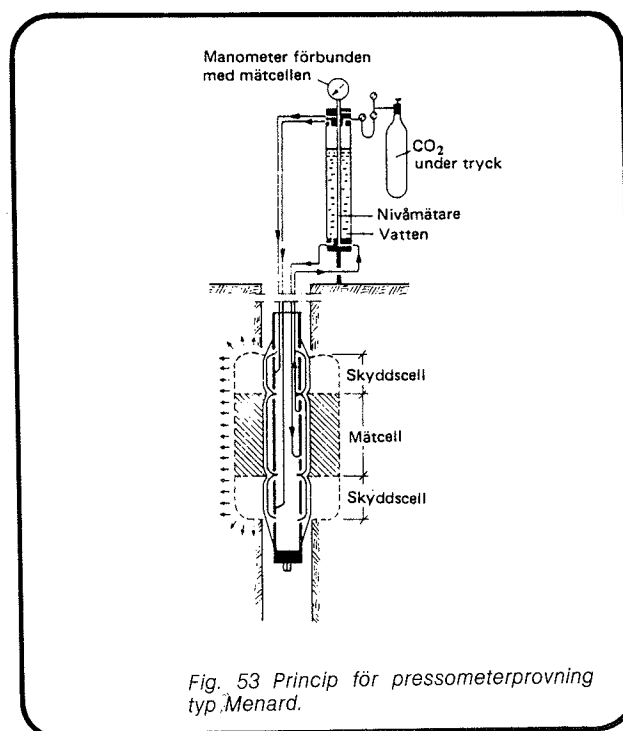


Fig. 53 Princip för pressometerprovning typ Menard.

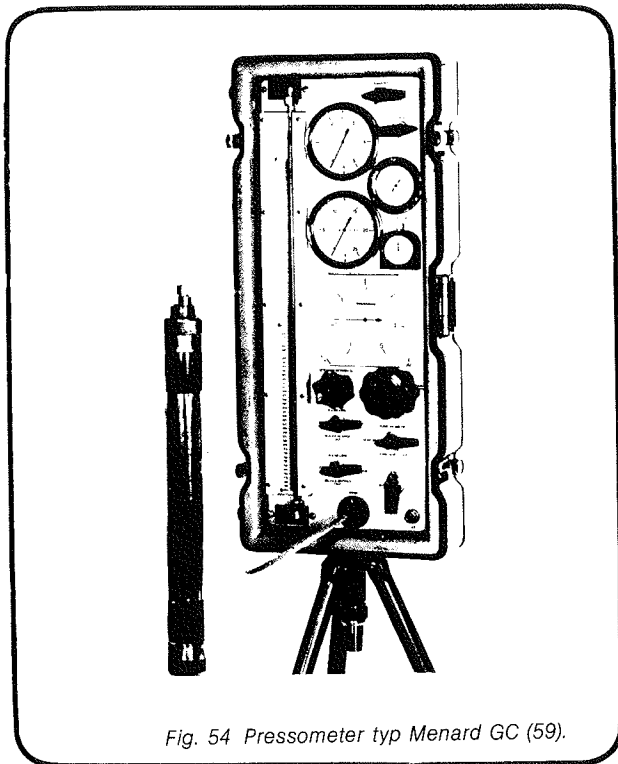


Fig. 54 Pressometer typ Menard GC (59).

Provningsen utförs oftast i förborrade hål med diameter något större än den icke expanderade provkroppens (32, 44 eller 60 mm). Vid provningen ökas trycket i mät- och styrcellerna stegvis tills plasticitetsgränsen i jorden nås. Laststegen väljs så att minst 10 steg erhålls före plasticering. Varje last hålls konstant under 60 s. Med hjälp av vattennivåmätaren bestäms mätcellens expansion 30 och 60 s efter pålastning. Ur detta kan krypningen för det aktuella celltrycket beräknas. Resultaten av provningen redovisas i ett diagram över mätcellens volymökning som funktion av det pålagda trycket i mätcellen, Fig. 55. Eftersom mätcellen i sig bjuder ett motstånd mot utvidgning måste pressometern kalibreras i luft. Den vid provningen bestämda tryck-volymändringskurvan korrigeras med hänsyn till denna kalibrering. Ofta redovisas i diagrammet också den s k krypkurvan, som anger volymökningen under respektive laststeg som funktion av trycket i mätcellen. Denna krypkurva används vid utvärderingen av resultaten.

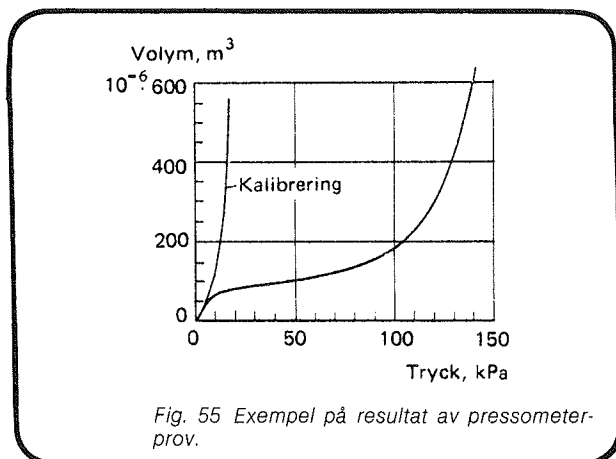


Fig. 55 Exempel på resultat av pressometerprov.

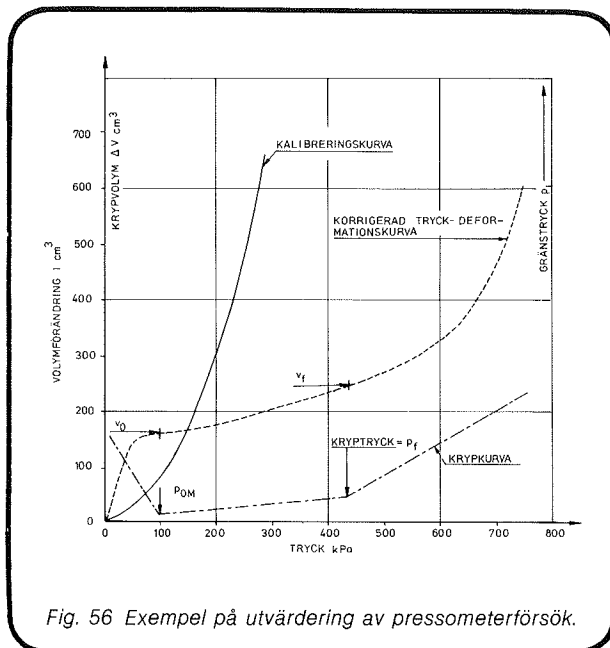


Fig. 56 Exempel på utvärdering av pressometerförsök.

Ur det uppritade diagrammet utvärderas den s k pressometermodulen E_M och gränstrycket p_l som utgör mått på jordens deformations- och hållfasthetsgenskaper. Parametrarna kan dock ej direkt översättas till en sättning modul eller ett hållfasthetsvärde utan de bör användas med de empiriskt utvecklade metoder för t ex sättningsberäkning och bärförmåga hos grundplattor som utvecklats av Menard (59) och Baguelin et al (27). Vid utvärdering av pressometerresultaten används den korrigerade pressometerkurvan (mätvärden minus kalibreringsvärden) och krypkurvan. Under förloppet $0-v_0$ kommer membranet i kontakt med borrhållsväggen och trycker tillbaka jorden till ursprungligt läge. v_0 representerar således den punkt där man börjar den rätlinjiga delen av tryck-volymändringskurvan, Fig. 56. Gränstrycket p_l definieras generellt som det tryck där man erhåller obegränsad volymökning. Eftersom man ofta ej kan utvidga mätcellen så kraftigt definieras gränstrycket i stället som det tryck vid vilket mätcellen erhållit volym $V_c + 2v_0$ där V_c är mätcellens ursprungsvolym. Ur gränstrycket beräknas nettogränstrycket p_l^* , som används vid grundläggningsdimensionering. Nettogränstrycket beräknas ur uttrycket $p_l^* = p_l - p_0$, där p_0 = totala horisontala vilojordtrycket i jorden.

Kan detta ej beräknas noggrant på annat sätt väljs $p_0 = p_{0M}$ motsvarande volymutvidgningen v_0 .

Kryptrycket p_f , som används för att utvärdera pressometermodulen E_M , motsvarar volymen v_f där den rätlinjiga delen av pressometerkurvan slutar. I krypkurvan erhålls härvid en brytpunkt på kurvan.

För praktiskt bruk kan pressometermodulen E_M beräknas ur uttrycket:

$$E_M = 2.66 V_m \frac{\Delta p}{\Delta v}$$

där $\Delta p = p_f - p_{0M}$; $\Delta v = v_f - v_0$
och $V_m = V_c + \frac{v_f + v_0}{2}$

Härvid har förutsatts att tvärkontraktionstalet $\nu = 0,33$.

I vissa jordar där borrhålet ej kan stå öppet tillgrips stabilisering med tjock borrhvåtska. I grusig jord kan denna metod inte användas utan man innesluter pressometern i foderrör med längsgående slitsar och driver rören med hejare till aktuella provningsnivåer. Motsvarande teknik har använts vid provning i mycket fast jord såsom morän när man driver ned foderrören med tung bergborrtröstning varvid borrhönan arbetar före foderröret. Erfarenheter visar dock att man med slitsrör kan få betydande störning av jorden varför resultaten blir osäkra. Ytterligare en nackdel med slitsrör är att korrigeringen av mätresultaten måste göras med ett högre värde beroende på att även slitsröret ger ett motstånd mot expansion. Vid lös jord kan detta medföra betydande fel.

Under senare år har det i England och Frankrike utvecklats självborrande pressometrar med vilka det är möjligt att utföra pressometerprovning i lös till halvfast lera samt i sand och silt med ett minimum av störning, jfr (27). Vid dessa utrustningar drivs pressometerkroppen ned genom tryck eller slag på borrhöret samtidigt som jorden i spetsen spolats upp invändigt. På vissa utrustningar finns längst ned också en liten cutter som kan roteras och därvid skär sönder jorden under spetsen. Med de självborrande pressometrar är det möjligt att bestämma det horisontala trycket i jorden. Dessa pressometrar bedöms dock tills vidare huvudsakligen bli använda för forskningsändamål, beroende på att utrustningen är mycket dyr, och att den bara kan användas i ett begränsat antal jordtyper.

I Japan har man under senare år utvecklat en pressometer av en enklare typ LLT (Lateral Load Tester) där man tagit bort styrcellerna men förlängt mätcellen (60). Preliminära undersökningar visar att denna pressometer kan användas på motsvarande sätt som Menard's pressometer.

PLATTFÖRSÖK

För bestämning av jords bärförmåga och sättnings-egenskaper kan man välja att utföra plattformsförsök. Dessa kan göras som ytliga försök på markytan, en schaktbotten eller en terrassyta eller på visst djup under markytan.

Skruvplatteförsök

Den för geotekniska ändamål mest använda metoden är skruvplatteförsök enligt den teknik som utvecklats i Norge. Metoden används främst i silt och sand för bestämning av jordens sättningsmodul och konsolideringskoefficient (61). Den har emellertid också använts för att bestämma skjuvhållfasthet i kohesionsjord (62).

Utrustningen består av en skruvplatta, ett hydraulsystem, yttorrör, förlängningsrör samt ett mothålls- och mätsystem, Fig. 57 och 58.

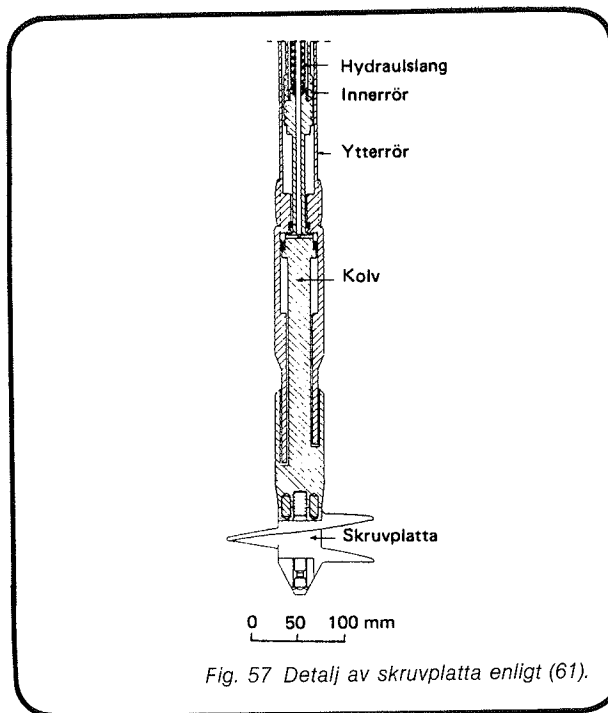


Fig. 57 Detalj av skruvplatta enligt (61).

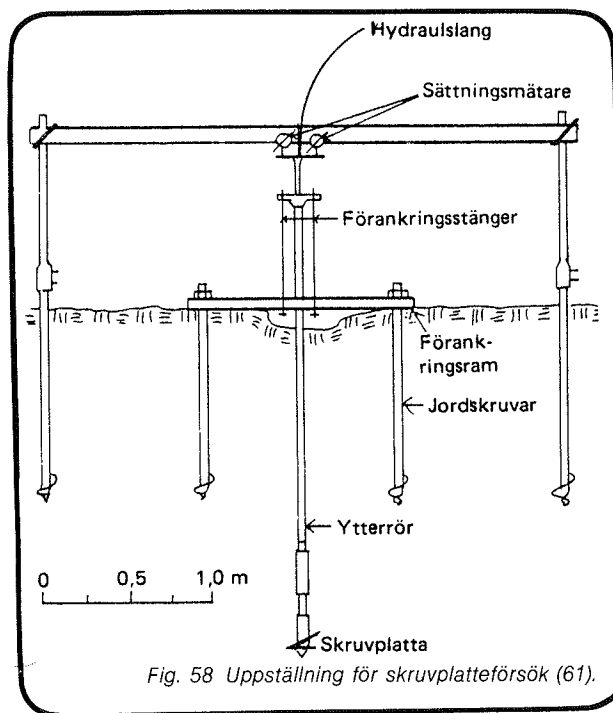


Fig. 58 Uppställning för skruvplatteförsök (61).

Plattan har normalt en diameter på 162 mm motsvarande en yta på 0,02 m² och en stigning på 45 mm. Skruvplattan fästs i nedre delen av en hydraulcylinder som skarvas med ett yttre och ett inre rörsystem. Plattan fästs vid systemet så att den vid uppdragning kan lämnas kvar i jorden varigenom uppdragningen underlättas. Hydrauloljan trycks till hydraulcylindern genom en slang i innerröret. Som mothåll används en ram som fästs vid markytan med jordskruvar. För sättningsmätning används också en mätbalk som förankras väl i jorden utanför influensområdet för mothållsskruvarna. Innerröret är fäst vid hydraulcylindern varför skruvplattans rörelse kan avläsas som rörelsen mellan mätbalk och innerrör. Trycket i hydraulcylindern erhålls från en flaska med komprimerad kvävgas där trycket kan hållas konstant med ett tryckregleringsdon.

Vid en undersökning borras eller skruvas plattan ned till den aktuella provnivån varefter lasten stegvis ökas på plattan. Laststegen väljs så att man får ca fem laststeg på varje nivå, det första vid aktuellt effektivt överlagringstryck och det sista begränsas av plattans brottlast, utrustningens kapacitet eller erforderlig spänning för det aktuella projektet.

I varje steg hålls lasten konstant tills sättningarna avstannat eller tills åtminstone 90 % konsolidering erhållits. För att bestämma tiden för avlastning plottas sättningskurvorna för varje laststeg som funktion av kvadratroten ur tiden, Fig. 59. Diagrammet används också för utvärdering av konsolideringskoefficienten c_r för radiell strömning enligt uttrycket

$$c_r = T_{90} \frac{R^2}{t_{90}} = 0,335 \frac{R^2}{t_{90}}$$

där R = halva plattbredden; t_{90} = tiden för 90 % konsolidering och T_{90} = tidsfaktorn vid 90 % konsolidering.

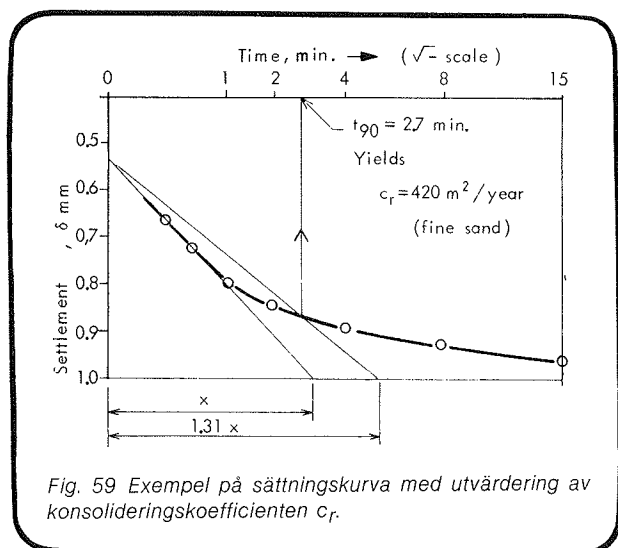


Fig. 59 Exempel på sättningskurva med utvärdering av konsolideringskoefficienten c_r .

Last-sättningskurvan för en provnivå visas som exempel i Fig. 60 liksom utvärdering av modultalet m .

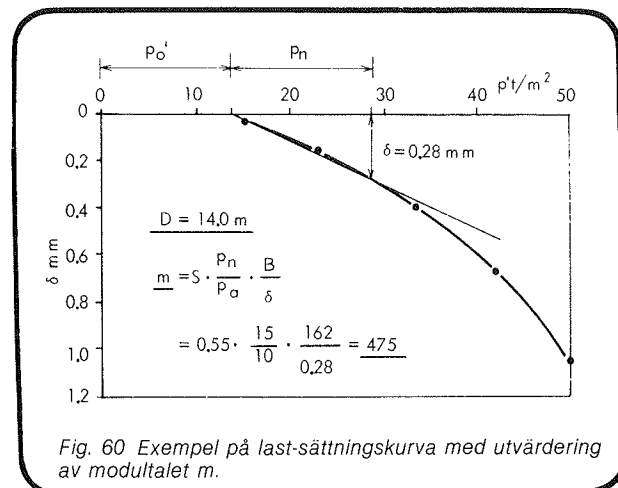


Fig. 60 Exempel på last-sättningskurva med utvärdering av modultalet m .

Härvid används uttrycket $m = S \cdot \frac{p_n \cdot B}{p_a \cdot \delta}$ där S = ett dimensionslöst sättningstal, p_n = nettotrycket mot plattan ($p - p_0$), B = plattans diameter, p_a = referenstryck = 100 kPa och δ = plattans sättning. Sätningstalet S är beroende av jordart, effektivt överlagringstryck och spänningsintervallet p_n och kan för silt-sand värderas ur Fig. 61. För övriga jordar hänvisas till (61). Sättningsmodulen M beräknas sedan ur uttrycket $M = m \sqrt{p_0 \cdot p_a}$ där p_0 är den aktuella spänningen i jorden.

Enligt Janbu och Senneseth (61) kan metoden med gott resultat användas som underlag för sättningsberäkning för silt- och sandjord. Enligt Dahlberg (63) kan metoden också användas för bestämning av förkonsolideringstrycket i sand, vilket är svårt att göra med annan metod. Praktiskt har man dock haft vissa svårigheter att få ned skruvplattan till önskad provnivå enbart genom att skruva ned den. I fastare jord måste förborring tillgripas. Enligt Denver (64) räcker det då att föra ned skruvplattan ca 0,3 m under borrhålets botten.

Ytliga plattförsök

Ytliga plattförsök kan utföras på en väl avjämnad markyta eller schaktbotten främst i siltig-sandig jord för husbyggnadsändamål eller på en färdig terrass eller beläggningssyta vid vägbyggnad. I det senare fallet används metoden ofta för att bestämma bärförmåga och sättningsmodul i undergrund eller fyllning. Vid Väg- och Trafikinstitutet finns särskilt utrustning för sådana försök med provplattor ϕ 0,28 - 0,80 m och belastningen på 60 - 200 kN. För speciella geotekniska undersökningar används ibland provbelastning med större plattor dock huvudsakligen i forskningssyfte.

Vid försöken bör man öka lasten stegvis och låta sättningen avstanna alternativt tills man uppnått 90 % konsolidering enl Fig. 59. Vid vägbyggnad är man oftast intresserad av jordens egenskaper vid upprepade på- och avlastningar varför man vid sådana projekt använder cykliska på- och avlastningar. Om möjligt drivs belastningsförsöket till brott- eller kryp-last.

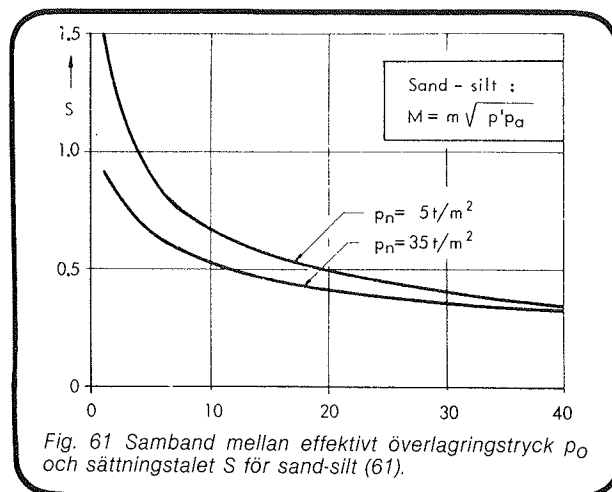


Fig. 61 Samband mellan effektivt överlagringstryck p_0 och sättningstalet S för sand-silt (61).

Vid utvärdering av last-sättningskurvan från ett ytligt plattförsök kan den uppmätta brottlasten användas för bestämning av bärlighetsfaktorn N och därur den ianspråktaga friktionsvinkeln ϕ . Sättningsmodulen M kan översiktligt beräknas uttrycket $M = k \cdot \frac{d \cdot \sigma_0}{S_0}$ där k är en konstant som beror av tvär-

kontraktionstalet och plattans styvhet (0,75 vid flexibel platta och $\nu = 0,5$, 0,60 vid styv platta och $\nu = 0,5$), d = plattans diameter, σ_0 = aktuell spänning (bör väljas motsvarande den aktuella spänningen) och S_0 är den mot σ_0 svarande sättningen hos plattan.

Bättre är att välja den av NGI utvecklade metoden att direkt ur ett plattförsök beräkna sättningarna för en aktuell platta varvid man tar hänsyn till den begränsning av sättningarnas storlek som erhålls med ett ökat förhållande mellan den verkliga plattans och provplattans bredd (70).

En nackdel med ytliga plattförsök är att man måste göra fler försök på olika nivåer för att kunna ta hänsyn till varierande sättnings- och bärlighetsegenskaper i jorden. Detta medför tidsödande schaktning till varje provnivå t ex inom teleskopspont (63).

Fallviktsförsök

Eftersom anordningar för mothåll och sättningsmätning är förhållandevis kostsamma har man med fallviktsförsök på dynamisk väg försökt att utvärdera jordens egenskaper. Härvid erhålls dock inte alltid samma last-deformations samband som vid statiska försök.

Vid försöket släpps en tung vikt mot den aktuella provytan. Med hjälp av en accelerometer med tillhörande mätutrustning kan fallviktens acceleration och retardation mot ytan beräknas. Genom en dubbel integrering av accelerationsförloppet med tiden och kännedom om fallviktens massa kan en kraft-sättningskurva beräknas, Orrje (65).

De av Orrje genomförda undersökningarna visar att resultaten beror av bl a fallhöjd, massan hos fallvikten och plattdiametern. Den ur försöken bestämda sättningsmodulen blev upp till 2 à 3 ggr den som erhöles vid statiska plattförsök och bärlighetsfaktorn N blev ca 2 ggr den som erhöles vid statiska plattförsök. Trots dessa olikheter visade sig metoden känslig för även små förändringar i jordmaterialets densitet varför metoden bedöms få betydelse för relativa mätningar av t ex packad fyllnings egenskaper. Någon direkt metod för utvärdering av sådana försök kan t v ej anges.

Vid dimensionering av förstärkningsåtgärder för vägar eller flygfält använder man också fallviktsförsök (fallviktsdeflektometer). Vid denna utrustning får fallvikten falla mot ett fjädersystem på en provbelastningsplatta (69). Utrustningen finns i några olika utföranden vid Väg- och Trafikinstitutet. Belastningsplattan är 0,30 eller 0,45 m i diameter och fallvikterna 150 eller 375 kg vilka kan ge kortvariga (20 - 30 ms) belastningar av storleken 50 - 150 kN på plattorna.

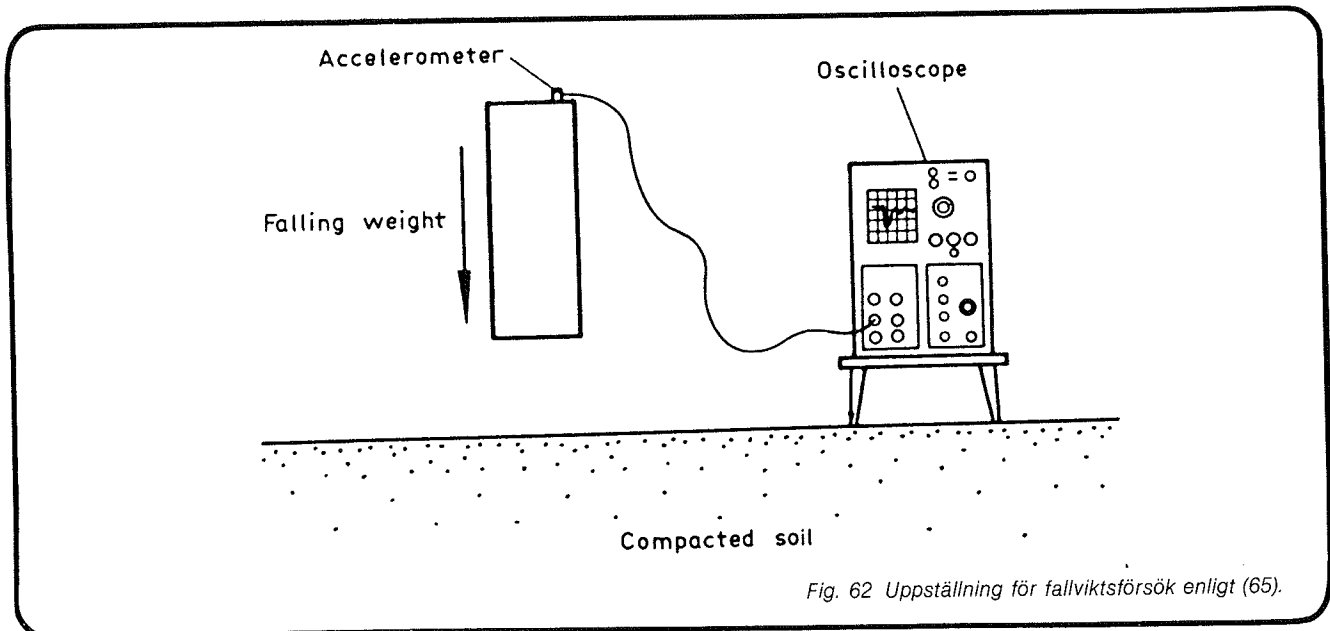


Fig. 62 Uppställning för fallviktsförsök enligt (65).

Grundvattenmätningar

ALLMÄNT

I detta avsnitt behandlas sådana geohydrologiska mätningar som har samband med geotekniska utredningar.

Kännedom om grundvattenförhållanden är ur geoteknisk synpunkt av betydelse i samband med stabilitets- och sättningsberäkningar samt för bedömning av dräneringar, schakter och beständighet hos t ex trä- och stålplåtar. Därför görs i samband med fältundersökningar erforderliga mätningar av yt- och grundvattenförhållanden. Man skall notera att det kan förekomma flera grundvattensystem i en jordlagerföljd med skikt av tätare jord. Vid sådana förhållanden måste ofta mätning av grundvattenstrycket ske på flera nivåer. För att man skall få meningsfulla grundvattenståndsmätningar i växellagrad jord bör man före nedsättning av grundvattenrör eller porttrycksmätare genom sondering och provtagning klarlägga jordprofilen så att representativa mätnivåer kan väljas. Vidare skall observeras att grundvattenståndet normalt varierar med tiden varför längre tids observation fordras.

VATTENSTÅNDSOBSERVATIONER

I den mån sjöar eller vattendrag förekommer inom undersökningsområdet bör man rutinmässigt notera uppgifter om aktuellt vattenstånd och i vissa fall även inskaffa uppgifter från SMHI beträffande sk karaktäristiska vattenstånd HHW, MW, LLW samt i rinnande vatten motsvarande vattenföringar. Vidare bör vattennivåer i brunnar och kärr liksom förekomst av källor eller artetiskt vatten i t ex borrhål noteras.

Den vattenytan som, mer eller mindre snabbt beroende på jordens genomsläpplighet "stabiliserar sig" i borrhål eller provgropar kan i homogen, genomsläpplig jord normalt anses motsvara en fri grundvattenytan. I tätare jord, t ex kohesionsjord med torrskorpa, är den i borrhål observerade vattenytan ofta sk "sprickvatten", dvs i torrskorpans sprickor och hålrum infiltrerat nederbördsvatten. Oavsett detta bör man rutinmässigt notera vattennivån även i sådana borrhål eftersom det kan ha betydelse för utvärdering av undersökningsresultaten. I den mån hålet står öppet under längre tid bör man mäta vattenståndet vid flera tillfällen under undersökningsperioden. Vid utvärdering och redovisning av dylika observationer måste man hålla i minnet att väderleken (kraftiga regn, snösmältning etc) i kombination med lokala förhållanden (t ex ytvattenavrinning mot borrhålet) lätt kan medföra att vattenståndet blir helt missvisande beträffande grundvattenstrycket i djupare jordlager.

MÄTNING I ÖPPNA RÖR

I genomsläpplig jord som grus och sand kan grundvattenytan mätas i öppna rör som nedförs ett stycke under förmodad grundvattennivå.

För detta ändamål används ofta 25 mm vattenledningsrör som pluggas eller plattas till i nederänden samt perforeras med små hål < 5 mm på en sträcka av ca 0,2 m. Som filter i röret används grov sand eller mineralull som invändigt skall täcka perforeringen. Under neddrivningen bör röret vara fyllt med vatten så att vatten strömmar ut genom perforeringen. I annat fall kan filtret tätas av finjord från omgivande jordlager.

Vid nedsättningen av rören mäts och protokollförs såväl rörspetsens som rörtoppens nivå. Efter nedsättning fylls vatten i röret och kontrolleras att vatten rinner ut i omgivande jord. Skulle röret ha tätats under neddrivningen kan man sätta det under tryck och därmed rensa perforeringshålen. Vid långtidsobservation eller om mätresultaten är oförändrade bör kontrollen av rörets funktion upprepas genom ny påfyllning i röret.

Vid kyla måste röret fyllas på med frostvätska som enligt (11) kan bestå av 5,5 l glykol, 5,5 l denaturerad sprit (T-röd) och 10 l vatten. Vid mätning med elektrisk indikering bör man dessutom tillsätta någon jonbildare t ex salt eller svavelsyra.

Mätning av vattenståndet i röret görs relativt rörets överkant och kan ske med t ex klucklod som fästs vid ett måttband. Lodet, som är skålformat undertill, ger ett kluckljud när det träffar vattenytan. Alternativt kan man använda en tunn graderad plastslang med en tyngd i nederänden. Om man blåser i slangen hörs ett bubblande när slangändan når vattenytan. Vid stort djup eller i t ex en bullrande stadsmiljö kan man använda ett elektriskt indikeringsinstrument där måttbandet utgörs av en tvåledarkabel. På de två ledarna läggs en elektrisk spänning via en ampèremeter. När kabelns nederände når vattenytan sluts strömkretsen och mätaren ger utslag. Kabelns nederände måste utformas så att instrumentet ej ger utslag för kondensvatten på rörväggen.

MÄTNING I RÖR MED FILTERSPETS

Ett alternativ till det ovan beskrivna systemet med öppna rör i genomsläppliga jordar utgör rör med filterspetsar som lämpligen används i siltig jord och moräner. I den av Geotech utvecklade modellen används ett stålrör perforerat med stora hål som fyllts med en porös blandning av sand och plast, Fig. 63. Två storlekar finns $\varnothing 25$ mm och $\varnothing 33$ mm. Filtren är med en nippel förbundna med en plastslang som utgör stig- och mätrör för grundvattnet. Genom att plastslangens diameter $\varnothing 4,0$ respektive $\varnothing 6,0$ mm är mindre än det öppna rörets erfordras ut- eller in-

strömning av en mindre vattenvolym för att tryckjämvikt skall erhållas. I den tunna slangen utförs påfyllning av vatten med en stor injektionsspruta. För att minska ytspänningen i vattnet tillsätts en liten mängd flytande tvättmedel.

Spetsen används som engångsspets, genom att borrhängerna efter neddrivning av spetsen dras upp och kvar lämnas endast filterspets med förlängningsrör och plastslang. Det är viktigt att man har minst 1 m förlängningsrör över filterspetsen med minst samma diameter som denna så att man mäter grundvattentrycket i omgivande jord, ej vattentrycket i borrhålet.

Avläsning av grundvattenståndet i plaströret görs främst med elektrisk dubbelledare. Härvid är det extra viktigt, åtminstone i den klena slangen ϕ 4 mm, att kontrollera att man får ett kontinuerligt utslag på ampèremätaren när slangen förs nedåt. Risk finns nämligen att man får utslag av kondensdroppar på slangväggen.

En äldre typ av detta system utgör den vid NGI utvecklade utrustningen ϕ 32 mm med bronsfilter och en inre plastslang ϕ 10 mm, Fig. 64.

De beskrivna systemen med filterspetsar och klena stigrör ϕ 4 mm har också provats i tät jord som lera i Örebrotrakten. Det har där visat sig att öppna system kan användas för portrycksmätning även i sådana jordar under förutsättning att de får erforderlig tid för stabilisering (1 — 3 veckor). Systemet har också använts i syfte att bestämma konsolideringskoefficienten för horisontell strömning, C_h , som erfordras vid dimensionering av t ex vertikaldränering (66).

MÄTNING MED SLUTNA SYSTEM

Vid mätning av porvattentryck i lera samt vid mätning av snabba tryckförändringar i andra täta jordar som silt eller morän bör man använda slutna mätsystem s k portrycksmätare. Dessa bör vara så utformade att det erfordras ett minimum av in- eller utströmning av vatten vid en tryckförändring. Ett flertal sådana hydrauliska, pneumatiska eller elektriska system finns idag. Under senare tid har de elektriska utrustningarna utvecklats mycket snabbt bl a med anledning av att det med sådana instrument är lättare att ordna automatisk mätning och registrering.

Ett äldre hydrauliskt system, som utvecklats vid SGI, består av ϕ 60 eller ϕ 32 mm filterspets med förlängningsrör och ett oljefyllt slutet mätsystem, Fig. 65 (67). Porvattnet i jorden står via det porösa filtret, vattenkanaler och ett munstycke i förbindelse med mätsystemet, som utgörs av en Bourdonmanometer, en förbindelseledning av koppar och ett sänkdon, som kan anslutas tätt till munstycket i spetsen. I sänkdonet finns ett membran mot vilket vattentrycket får verka underifrån.

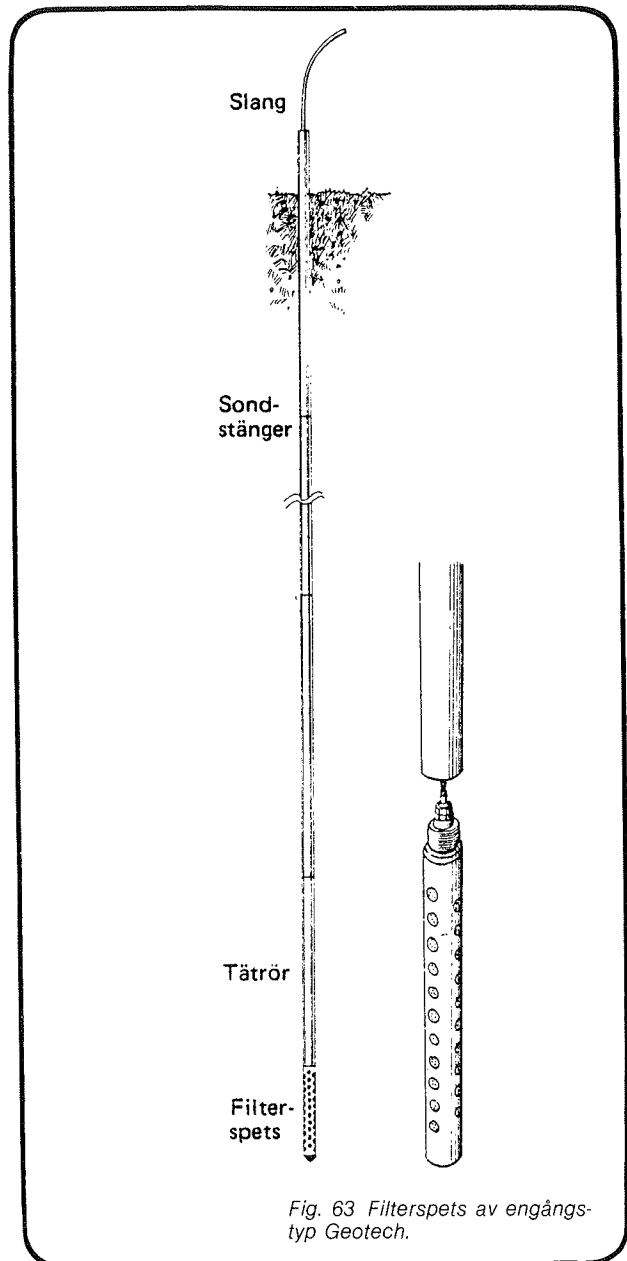


Fig. 63 Filterspets av engångstyp Geotech.

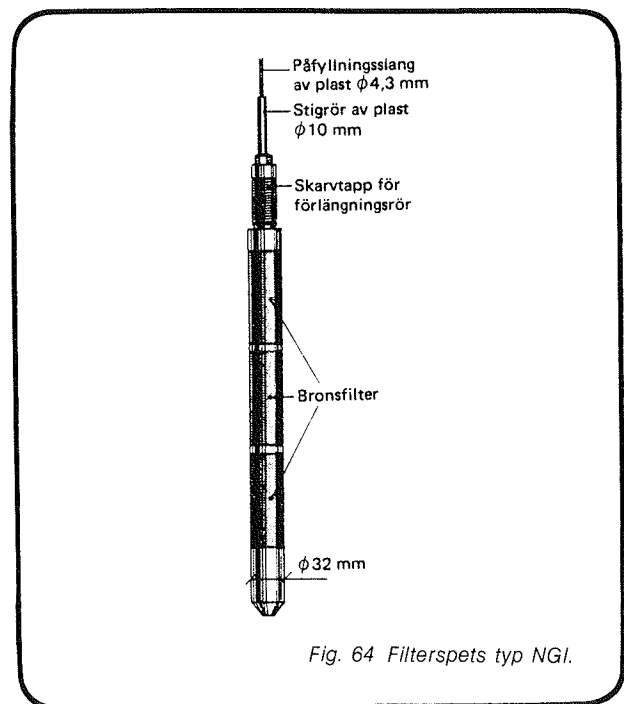
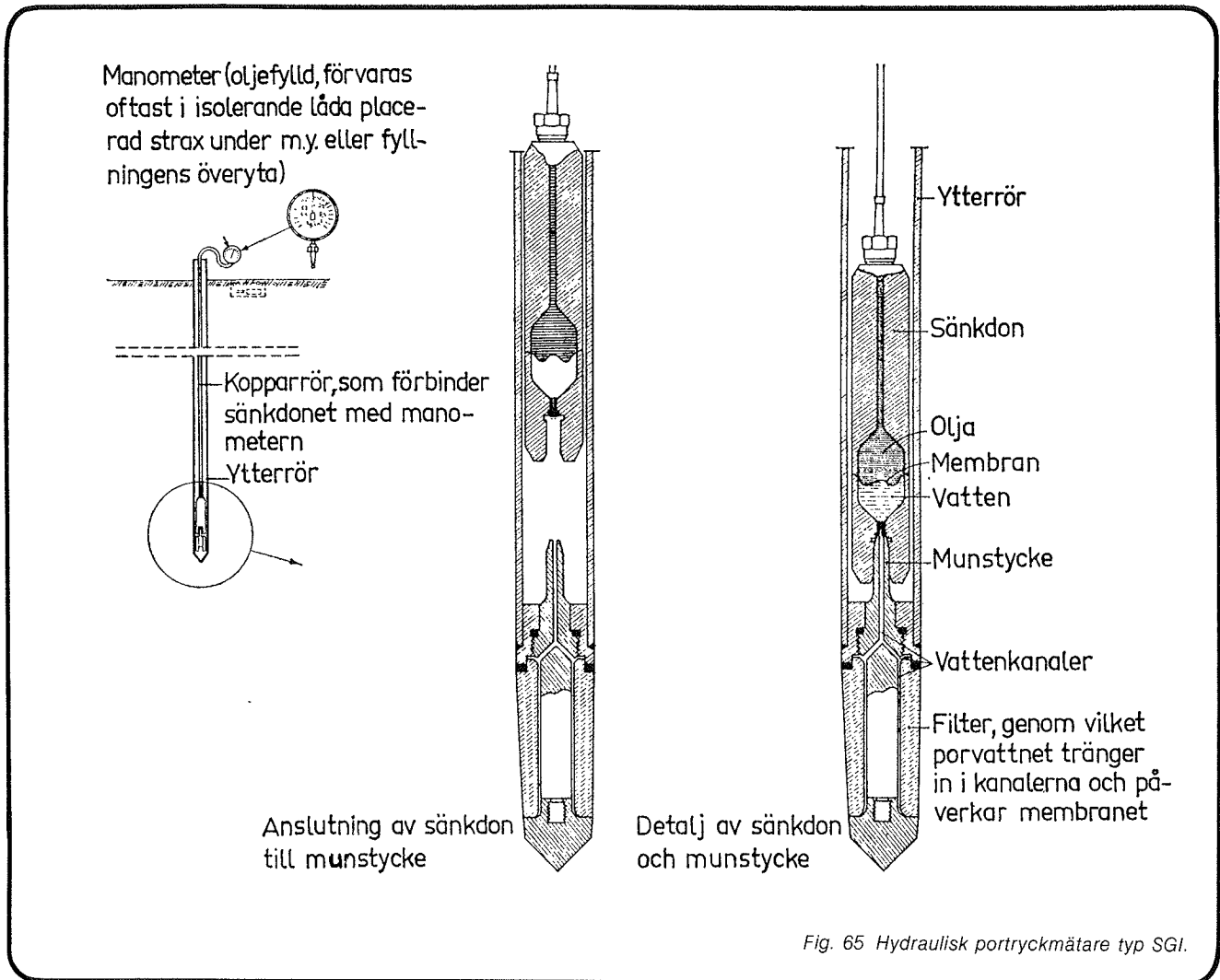


Fig. 64 Filterspets typ NGI.

Över membranet, i kopparledningen och i manometern finns silikonolja, som utgör det trycköverförande mediet.

Sedan sänkdonet med manometer kommit på plats kan avläsning ske på manometern. Avläsningen anger trycket på manometernivån. Med ledning av detta samt kännedom om oljans densitet och nivåskillnaden mellan membran och manometer kan porvattnets tryck vid spetsen beräknas.

Den vanligaste typen av elektriska portrycksmätare torde vara den som bygger på principen att mäta frekvensförändringar hos en svängande sträng. Två fabrikat förekommer i Sverige, Geotech och Geonor. Vid denna typ av mätare verkar porvattnet i jorden via ett filter och kanaler mot ett membran, Fig. 66. I membranet är fäst en spänd stålsträng som kan bringas att svänga med hjälp av elektromagneter. Strängens svängningsfrekvens är beroende av strängens spänning. Vid ökat tryck mot membranet



Vid nedsättningen av sänkdonet, eller när man önskar kontrollera mätutrustningen, kan kalibrering ske mot ett känt vattentryck i förlängningsrören. Vid kontrollen lyfts sänkdonet av från munstycket vid spetsen.

Mätsystemet förutsätter att volymutvidgningen i kopparrör och olja är densamma annars kommer skillnaden i volymförändring att ge utslag på manometern som en tryckförändring. För att i möjlig mån undvika sådana effekter gräver man ned ledning och manometer i en väl värmeisolerad låda. Trots detta visar erfarenheten på säsongsmässiga tryckförändringar som kan bero på temperaturväxlingar under året.

sjunker strängens svängningsfrekvens och tvärt om. Eftersom det är svårt att tillverka dessa mätgivarer så att strängens infästning inte förändras med tiden är det önskvärt att man åtminstone vid långtidsobservationer kan kontrollera mätarens nollpunkt, dvs bestämma den frekvens strängen har vid trycket noll mot membranet. I Geotech's mätspetsar har man ordnat en sådan möjlighet genom att med en elektromagnet avlasta membranet. I Geonor's utrustning kan membranet avlastas genom att man placerat in ett gummimembran närmast vatten. Detta kan med hjälp av ett inre luftryck, som får verka genom hål i stålmembranet, pressa undan vattentrycket från stålmembranet.

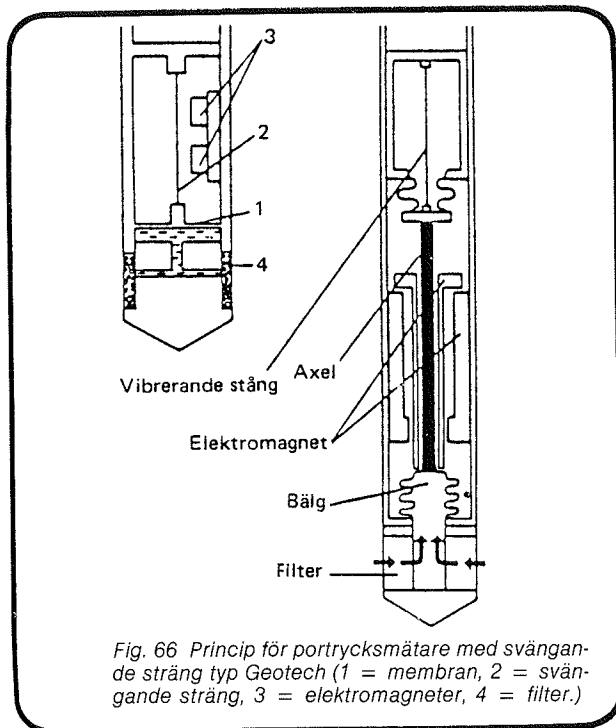


Fig. 66 Princip för portrycksmätare med svängande sträng typ Geotech (1 = membran, 2 = svängande sträng, 3 = elektromagnet, 4 = filter.)

Vid portrycksmätning med slutna system är det viktigt att hålla i minnet vilket tryck som avläses. I Geonor's utrustning erhålls trycket relativt rådande lufttryck vid markytan medan man i Geotech's utrustning mäter en absoluttryckförändring som måste korrigeras för rådande lufttryck och rådande temperatur.

Avläsningen av dessa instrument sker med frekvensräknare som i modell Geotech anger trycket direkt i m vattenpelare. Under senare tid har man också utvecklat programmerbara avläsningsinstrument, som gör det möjligt att automatiskt avläsa ett flertal portrycksmätare under viss tid. Mätdata lagras i ett minne, Fig. 67 eller kan registreras på skrivare. Vid dessa typer av portrycksmätare är det viktigt att man inte överbelastar givarna under nedsättningen i jorden. Man kan enligt (68) räkna med ett porvattenövertryck i lera motsvarande 5 à 6 ggr leras odränerade skjuvhållfasthet.

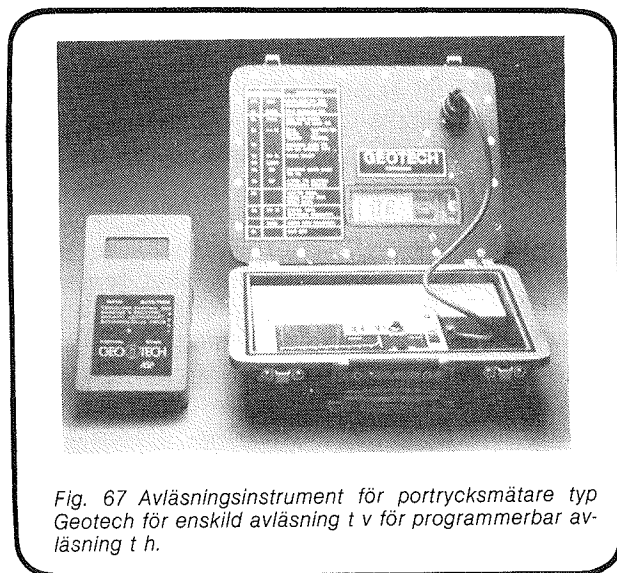


Fig. 67 Avläsningsinstrument för portrycksmätare typ Geotech för enskild avläsning t v för programmerbar avläsning t h.

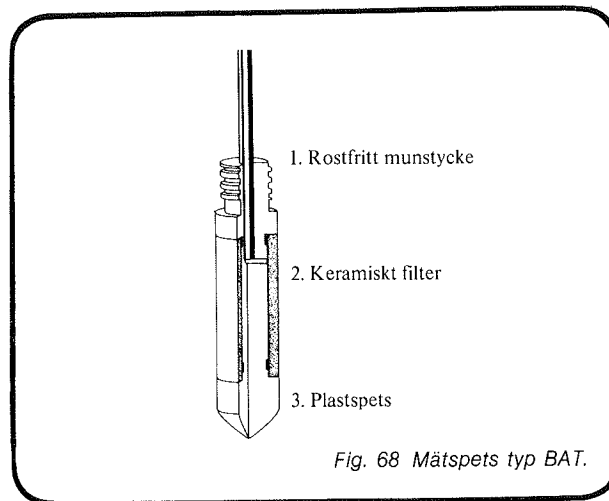
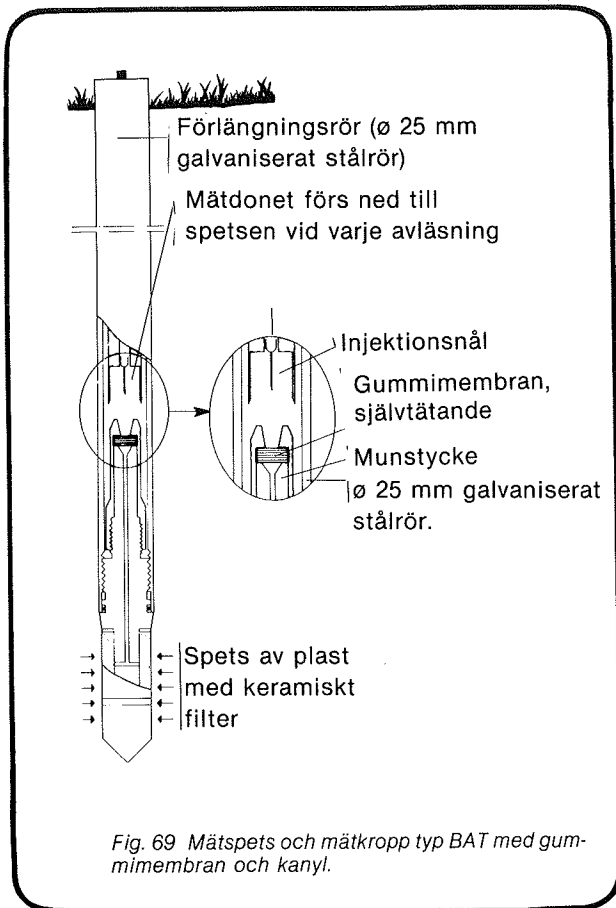


Fig. 68 Mätspets typ BAT.

Vid den andra typen av elektriska portrycksmätare används i handeln förekommande membrantryckgivare där tryckförändringarna kan bestämmas med elektriska trådtöjningsgivare. Tack vare denna mätprincip kan dessa givare också användas för mätning av dynamiska porvattentryck inom vissa gränser. Dessa portrycksmätare är normalt utformade för mätning av tryck relativt lufttrycket. I det av Torstensson utvecklade s k BAT-systemet har man skiljt mätsystemet och mätspetsarna varigenom installationskostnaden minskar. På platsen installeras en mätspets med förlängningsrör. Mätspetsen består av en plastspets, ett keramiskt filter och ett munstycke av rostfritt stål, Fig. 68. Vid mätning sänks en mätkropp ner över munstycket på mätspetsen. Genom att mätkroppen tätar över munstycket fortplantas porvattentrycket genom filter och kanaler till tryckgivaren i mätkroppen. Avläsning sker med ett digitalt instrument som direkt ger vattentrycket vid tryckgivaren i m vattenpelare. Detta tryck korrigeras för nivåskillnaden mellan tryckgivare och filterspets. En fördel med denna typ är att kalibrering kan ske i samband med mätning mot vattenståndet i förlängningsrören. En nackdel är att man vid mätning måste vänta tills trycket mot givaren stabiliserats. Detta beror på att det uppstår en liten tryckökning när mätkroppen antrar munstycket. För att minska denna väntetid är BAT-systemet i en senare version försett med ett gummimembran i mätspetsen och en tunn kanyl i mätkroppen, Fig. 69. När mätkroppen sänks tränger kanylen genom gummimembranet och får kontakt med porvattnet. När mätningen avslutats dras kanylen ut och hålet i membranet försluts av sig själv.

Vid SGI har under senare tid utvecklats ett portryckssystem med motsvarande givare som vid BAT-systemet. Här har dock givarna fast montering i filterspetsen eftersom de är avsedda för kontinuerlig registrering av portrycksförändringar i jorden. Till dessa mätare finns ett registreringssystem som automatiskt noterar portrycket på ett flertal mätare.



Ytterligare ett sätt att bestämma det statiska vattentrycket i jorden används vid portrycksondering där man kan stanna sonderingen på viss nivå till dess trycket stabiliserats eller åtminstone så lång tid att jämviktstrycket kan bestämmas genom extrapolering av tryckutjämningskurvan.

SPECIELLA GRUNDVATTENUNDERSÖKNINGAR

I vissa fall kan det föreligga behov av att utreda verkningarna av en tillfällig eller permanent framtida sänkning av grundvattenytan inom ett område. För att kontrollera avsänkningstrattens form och utsträckning måste man då ofta utföra s k provpumpning. Härvid pumpas grundvattnet upp genom en filterbrunn eller ett pumprör med filterspets, som nedförts till de vattenförande jordlagren. Grundvattenytans variationer följs genom lämpligt placerade observationsrör eller portrycksmätare i omgivande terräng. Dessutom hålls vattenytan i eventuella närliggande brunnar under observation. Beroende på jordlagrens permeabilitet och ändamålet med undersökningen måste pumpningen pågå längre eller kortare tid. Med ledning av observationsresultat och pumpningsintensitet kan grundvattenföring och jordlagrens verkliga permeabilitet bestämmas samt konsekvenserna av en grundvattensänkning bedömas.

Redovisning av fältundersökningsresultat

De geotekniska fältundersökningarna skall tillsammans med andra utredningsdelar som ledningsinventering, laboratorieundersökningar m m ligga till grund för en serie bedömningar och beräkningar.

Resultaten av geotekniska fältundersökningar skall därför så långt möjligt sammanställas på plan- och sektionsritningar så att man erhåller en överskådlig och detaljerad bild av jord-, berg och grundvattenförhållanden på den aktuella platsen. Resultat av t ex in situ-provtagningar och långtidsobservationer av porvattentryck redovisas i särskilda diagram.

Eftersom en geoteknisk utredning skall läsas av många inblandade i byggprocessen är det nödvändigt att redovisningen utförs på ett enhetligt sätt eller anges i klartext efter tolkning. Som tidigare nämnts har Svenska Geotekniska Föreningen (SGF) utarbetat anvisningar för redovisning av geotekniska undersökningar: Beteckningsblad 1—5 (5). Se bilaga.

Planritningar skall förutom läge och typ av utförda undersökningar ge en översiktlig information om topografi, befintliga byggnader och anläggningar samt läge och typ av planerade byggnader eller anläggningar. För de senare anges ursprung och datum för redovisat förslag eftersom man ju ofta ändrar läge och utformning under projekteringsgången.

Som underlag för planritningarna används ofta en grundkarta i skala 1:1000 eller 1:2000. Vid mindre projekt används del av grundkartan ofta som situationsplan medan en mer detaljerad plan i t ex skala 1:400 används för en detaljredovisning av byggnader, anläggningar och borrhävar.

Det är också av stort värde att på planritning redovisa andra iakttagelser som kan underlätta bedömningen av undersökningsresultaten t ex berg- och moränområden, kärr- eller torvmark, större stenar och block samt fyllningar. För planredovisning av jordarter och jorddjup i samband med geologisk-geoteknisk kartering finns specialbeteckningar upprättade av SGF, Beteckningsblad 4—5, se bilaga.

På planritning skall anges läge och koordinater för polygonpunkter som använts vid utsättning eller inmätning samt läge och plushöjd för fixpunkter som använts vid avvägning. Används istället baslinje för utsättning och inmätning skall dess nollpunkt och läge anges i förhållande till fasta terrängföremål. Skälet är att man skall kunna återutsätta en borrhävar för komplettering eller kontroll av undersökningsresultat.

På planritningen eller annan plats i den geotekniska utredningen skall också anges vilken typ (tillverkare) av utrustning som använts vid undersökningarna. Detta är viktigt eftersom det förekommer flera tillverkare av samma typ av utrustningar och man inte alltid får samma resultat med dessa. Målet är att ge underlag för en bedömning av varför man vid t ex en komplettering inte erhåller motsvarande resultat som vid en första undersökning. Det kan också utgöra förklaring till varför en undersökning inte drivits längre än som redovisats.

Sektionsritningar skall ange mark- och eventuella vattenytor samt resultat av fält- och laboratorieundersökningar enligt SGF:s Beteckningsblad 1:4. Borrhålen skall normalt redovisas på rätt plats och höjd i sektion eftersom en styckevis redovisning av borrhål försvårar bedömningen av jordlagerföljdens förändringar i plan och sektion. Normalt används ritningar med höjdskalet 1:100 (möjligen 1:200) och en längdskala som avpassas efter projektets art 1:100 à 1:200 för byggnader eller väg- och järnvägsbankar eller 1:400 à 1:1000 för längdsektioner på VA-ledningar eller vägar.

På sektionsritning redovisas också befintliga och planerade konstruktioner och anläggningar t ex källargolv, grundplattor, pålplintar, profillinjer, fyllningar, schakter, tvärsektioner för vägar, vattengång för VA-ledningar och trummor etc.

Metoder för kontroll och uppföljning

SYFTE

Metoder för kontroll och uppföljning vid jord- och grundläggningsarbeten utförs av många olika skäl (71):

- för att dokumentera jord eller byggnadsrörelser, vibrationer eller porvattentrycksförändringar som underlag för eventuella kostnadsregleringar med t ex ägare till grannfastigheter
- för att verifiera att ett arbete utförs på avtalat sätt
- för att ge underlag för bedömning av säkerheten under utförande av ett visst projekt så att skador eller förlust av liv kan undvikas samtidigt som en låg säkerhetsfaktor kan hållas av ekonomiska skäl
- för att ge kunskapsåterföring för projektering och utförande av liknande projekt eller som underlag för fortsättning av aktuellt projekt.

Dessutom förekommer omfattande mätningar och kontroller i samband med geotekniska forsknings- och utvecklingsprojekt.

Mätning av rörelser i jord och konstruktioner förekommer för en mängd olika objekt som byggnader, broar, sponter, naturliga slänter, djupa schakter, dammar etc.

Mätning av spänningar i jord förekommer oftast vid stora eller svåra projekt t ex jorddammar eller djupa sponter.

Vibrationsmätning förekommer huvudsakligen i samband med risk för stör- eller skadeverkan på byggnader eller känsliga maskiner t ex datorer. Väg- och järnvägstrafik eller grundläggningsarbeten, t ex pålning, kan vara kritiska vibrationskällor.

Kontroll av jordpackning förekommer vid ett stort antal objekt t ex dammar, vägbankar, återfyllning i ledningsgravar samt fyllning för grundläggning.

Portrycksmätning i jord ingår ofta som kontroll- eller uppföljningsmetod vid t ex pålningsarbete i slänter eller vid vertikaldränering. Se kapitel 5.

BEGREPP

Många av de uttryck som används inom området kontroll och uppföljning av jord- och grundläggningsarbeten återfinns i TNC geotekniska ordlista (72).

- Spricklupp: Lupp försedd med skala för mätning av sprickvidd i konstruktionen.
- Extensometer: Mekaniskt instrument för mätning av små längdändringar.
- Inklinometer: Instrument för mätning av avvikelser från lodlinjen (tyngdkraftlinjen).

MÄTNING AV JORD- OCH BYGGNADSRÖRELSE

Allmänt

Mätning av vertikala eller horisontala rörelser i jord eller byggnadskonstruktioner ingår som en naturlig del i många jord- och grundläggningsarbeten. Mätmetoderna kan grovt indelas i metoder för mätning av horisontala och vertikala rörelser där mätprinciperna ofta är olika.

Noggrannheten i mätresultaten varierar med mätmetoden, vilket kan göra det svårt att välja lämplig utrustning. Generellt gäller att man måste välja större mätnoggrannhet och tätare avläsningar ju kortare varsel- eller undersökningsperiod som står till buds. Vidare bör noggrannheten vara väsentligt bättre än förväntade ändringar i mätvärdena.

Mätning av vertikala rörelser

Mätning av vertikala rörelser (sättningsmätning) utförs bl a för att följa sättningsförloppet för vägbankar på vertikaldränerad jord eller för temporära överlastar vid förbelastning av byggnadsgrund eller för att kontrollera att skadliga sättningar ej inträffar i en byggnad eller ledning vid jordarbeten i dess närhet.

Sättningsmätning på t ex husgrunder eller andra fundament görs oftast med precisionsavvägning av speciellt uppsatta avvägningsdubbar eller med hjälp av en mätklocka som mäter rörelsen mellan en konsol på grunden och en referenspegel ofta driven till fast botten, Fig. 70. Mätklockan kan vara löstagbar eller fast monterad på konsolen. Ofta används

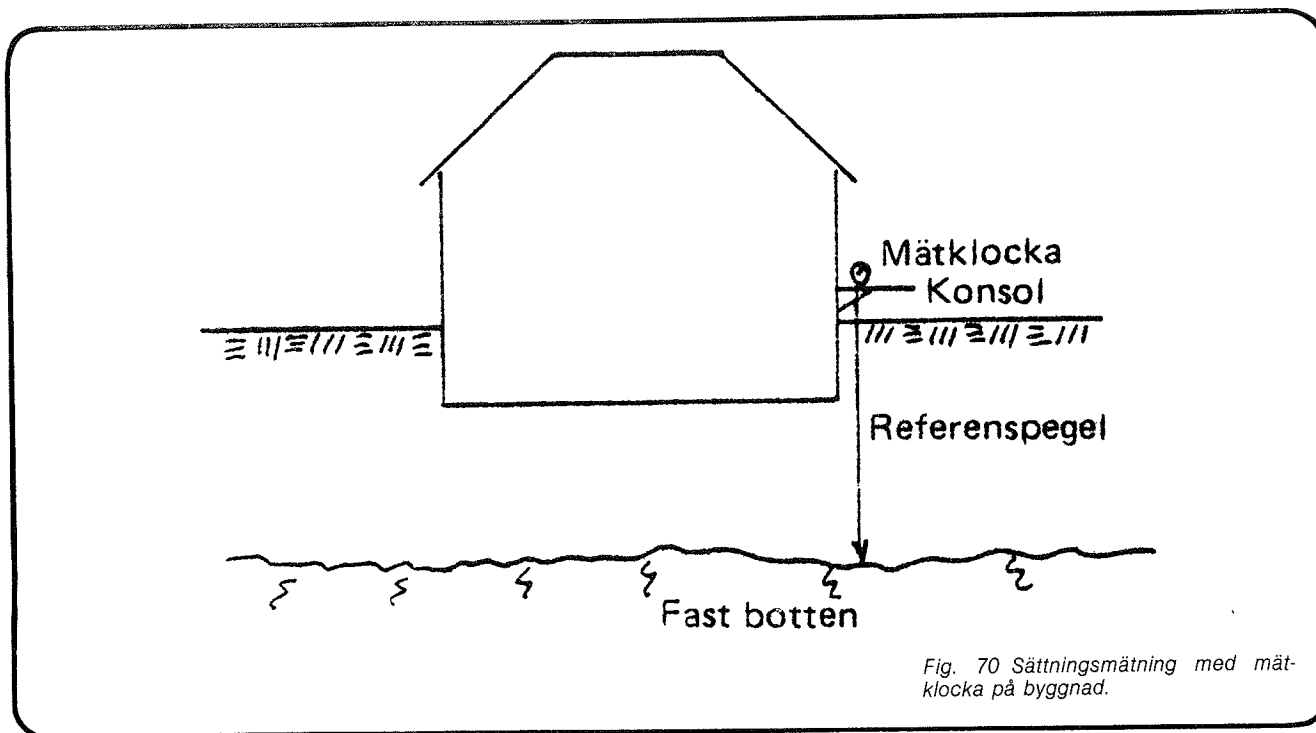


Fig. 70 Sättningsmätning med mätklocka på byggnad.

mätklockor med en upplösning av 0,01 mm. Denna mätnoggrannhet kan på en relativt kort tid ge besked om pågående rörelser. Metoden kan också användas vid sättningsmätning av markyta eller jordfyllning. Härvid träas ett rör med stålplatta eller en skruv över referenspegeln.

Precisionsavvägning av dubbar ger en praktisk mätnoggrannhet på 0,5 - 1 mm. Detta kräver dock närhet till goda fixpunkter samt speciella instrument och avvägningsstänger. Sämre precision erhålls också vid omväxlande soligt och molnigt väder samt vid blåst. Sk finavvägning ger sällan en bättre mätnoggrannhet än 5 mm.

Det hittills vanligaste sättet för rutinmässig kontroll av bank- och marksättning där rörelser större än ca 50 mm förväntas, är direkt avvägning av krön-, mark- eller jordpegel. Sådana består i princip av skarvbara stålstänger (t ex viktsondstänger) fastsatta vid fotplattor av durkplåt eller bredflänsiga jordskruvar placerade på önskad (dock frostfri) nivå i bankfyllningen, i markytan under banken eller på viss nivå i jordlagret. För att minska de arbetstekniska olägenheterna av de uppstickande pegelstängerna vid bankutläggning kan — vid sten- och blockfri fyllning — markpeglarna utföras med lös pegelstäng, som förs ned till fotplattan när banken är helt uppfyllid. Vid blockig jord är pegelmetoden som sådan mindre lämplig men vid användning av lösa stänger dock möjlig, om håltagning görs med bergbormaskin.

För sättningsmätning i jorddammar har Statens Vattenfallsverk prövat två system som bygger på principen med ett teleskopiskt mätrör och massiva stålringar respektive radioaktiva isotoper utplacerade på olika nivåer i fyllningen (73). Genom att vid olika tidpunkter lokalisera stålringarnas respektive isoto-

pernas läge (nivå) med hjälp av i röret nedsänkta mätdon för bestämning av densitet eller vattenkvot hos jord respektive radioaktivitet kan sättningen på olika nivåer i fyllningen mätas (stålringarna registreras av mätdonet som en markant ändring av jordfyllningens egenskaper.) Noggrannheten hos dessa metoder anses vara ungefär ± 10 mm. Statens Väg-institut har prövat en metod att med hjälp av magnetiska mätdon nedförda i uppborrade hål lokalisera och följa vertikallrörelsen hos i vägbanken inplacerade metallkroppar, t ex metallnät.

För mätning av sättningar i vägbankar, rörledningar och under fundament med stor utsträckning t ex för oljecisterner har Statens geotekniska institut utvecklat den sk slang-sättningsmätaren (74, 75). Speciellt intresse har metoden under senare tid rönt från VA-sidan där man vill kontrollera att ledningarna lagts på avtalat sätt och vill mäta nivåerna på äldre ledningar, som antas vara sättnings-skadade. Dessutom används metoden rutinmässigt vid sättningsmätning på vägbankar, Fig. 71. Mätutrustningen, vars princip visas i Fig. 72, består av två plastslangar trädde i varandra. Den inre slangerna innehåller luft medan utrymmet mellan slangarna är fyllt med en vätska (normalt vatten). I luftslangen är också indragen en elektrisk kabel. I den nedre änden är ansluten en mätkropp med en elektrisk tryckgivare. I den övre änden ansluts vätskan till ett stigrör med atmosfärstryck och luftslangen får också mynna i fria luften. Kabeln ansluts till en mätbrygga. Vid mätning förs mätkroppen in till önskad längd i en slang under t ex en vägbank, som utlagts före uppfyllningen av banken. Nivåskillnaden mellan den fria vätskeytan och mätkroppen kan efter kalibrering läsas direkt på mätbryggan. Mätnoggrannheten är vid mätning med vatten 3 mm. I Fig. 73 visas resultaten av mätningar på en avloppsledning där förhållandevis stora avvikelser från projekterad sträck-

ning uppkommit. Som jämförelse redovisas även resultaten av den TV-filmning som också genomförts på ledningen.

Bälgslangsättningsmätare (76) kan användas för sättningsmätning i ett stort antal punkter i en jordprofil från markytan och till önskat djup, maximalt ca 25 m. Mätssystemet består av en 25 mm spiralarmerad plastslang som kan tryckas ihop i längdled. Slangen kapas i bitar motsvarande avståndet mellan mätpunkterna. Bitarna skarvas med plasthylsor som innehåller en metallring. Denna utgör kontakt för en elektrisk krets som består av ett indikeringsinstrument, en kabel och kontaktfjädrar på mätområdet, Fig. 74. Kabeln utgör samtidigt måttband så att metallringarnas djup under markytan eller höjd över den djupast belägna ringen kan avläsas.

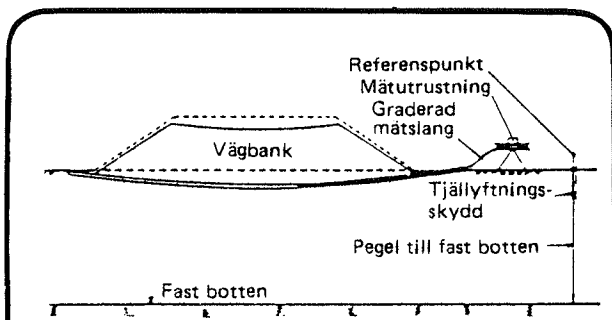


Fig. 71 Princip för slangsettningsmätning vid vägbank.

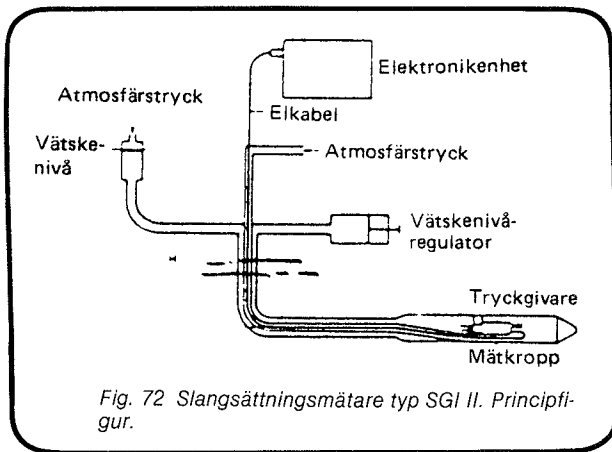


Fig. 72 Slangsettningsmätare typ SGI II. Principfigur.

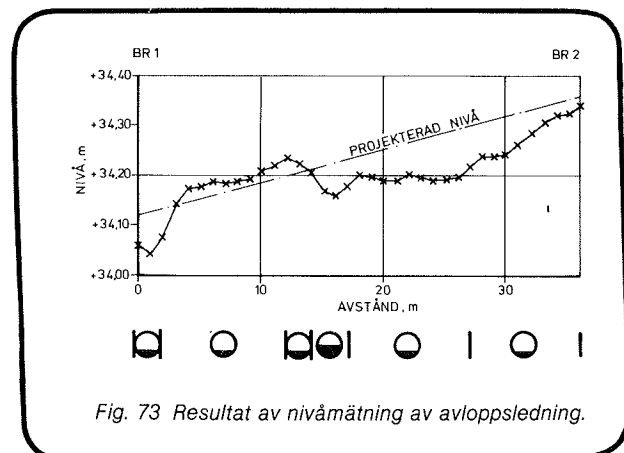


Fig. 73 Resultat av nivåmätning av avloppsledning.

Bälgslangen sätts ned till önskat djup genom att pressa ned slangen med en stålspets och ett inre stångsystem. Ibland erfordras dessutom foderrör. Sedan man nått fullt djup dras i förekommande fall först foderrör och därefter innerstången upp. I lös lera sluter sig jorden väl kring slangen medan man i torrskorpelera kan behöva fylla sand runt slangen för att den skall följa jordens rörelser. Beroende på sträckningen av slangen under nedsättningen bör man se till att sätta ner den i god tid 2 - 4 veckor innan ett egentligt mätprogram påbörjas. Kontroller sker med ett antal nollmätningar. Mätnoggrannheten bedöms vara ± 1 mm. Den totala noggrannheten beror dock på om man har full följsamhet mellan slang och jord. Eftersom slangens relativa hoptryckning är begränsad till ca 10 % kan metoden inte användas där jordens relativa sammantryckning är större.

På motsvarande sätt kan sättningsmätning göras på skruvar som drivs ned i jorden runt ett plaströr, Fig. 76. (77). Eftersom skruvarna har en stor yta följer de säkert med jorden i dess rörelser. I varje skruv finns en magnetring. Avståndet mellan t ex en nedre referensring, som nedförts i fastare bottenlager, och övriga magnetringar mäts som vid bälgslangsättningsmätare med måttband. För att indikera läget av magnetringarna har man en i måttbandet upphängd mätkropp med tungelement som sluter en strömkrets när det passerar magnetfältet inne i plaströret.

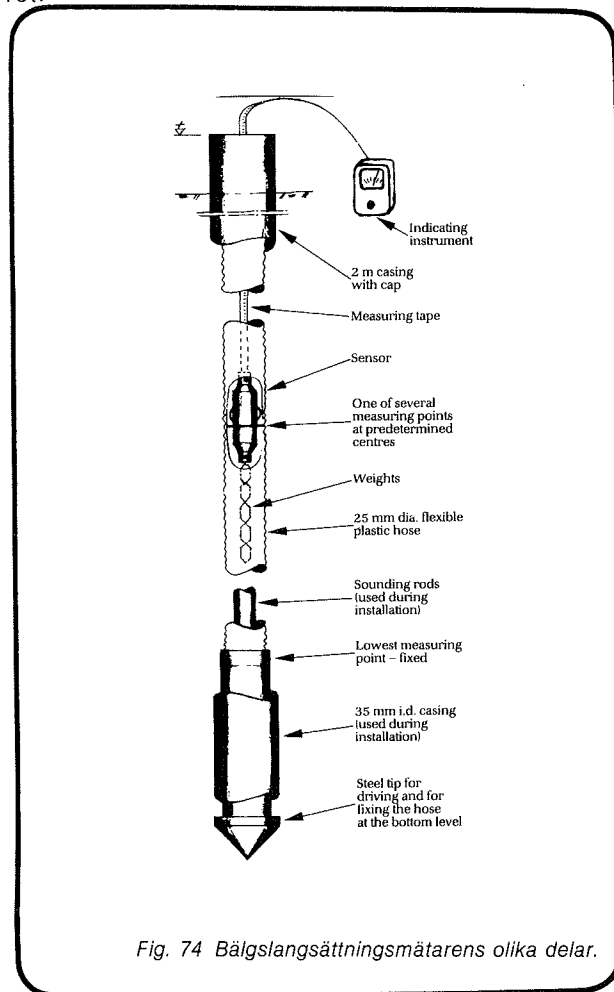


Fig. 74 Bälgslangsättningsmätarens olika delar.

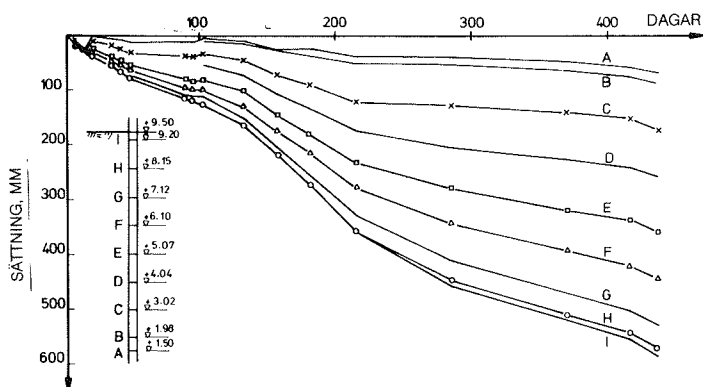


Fig. 75 Resultat av bälgslangsättningsmätning under en vägbank på lös lera.

Eftersom tungelementet reagerar flera ggr vid passage genom magnetfältet måste man hålla reda på vid vilket tillslag man mäter djupet till magnetringarna så att samma avläsning kan göras varje gång. Mätnoggrannheten är för denna utrustning ± 1 mm men kan vid små djup förbättras med ett längdbeständigt måttband och en nonie vid mm-skalan. Tungelementets tillslagskänslighet är ca $\pm 0,2$ mm.

Mätning av horisontalrörelser och lutningsändringar

Mätning eller kontroll av horisontalrörelser i jord eller konstruktioner i jord utförs bl a vid undersökning av slänters stabilitet eller i samband med jordförskjutning till följd av belastning, pålning eller djupa schakter med eller utan spont.

Mätning på jordytan kan ske med t ex optiska eller elektrooptiska instrument (teodolit, Geodimeter el dyl) eller med längdbeständiga måttband från fasta referenspunkter. Vid kortvariga projekt kan även mätklockor eller elektriska lägesgivare installeras varigenom man snabbt kan få indikation på trenden i pågående rörelser även om de är små.

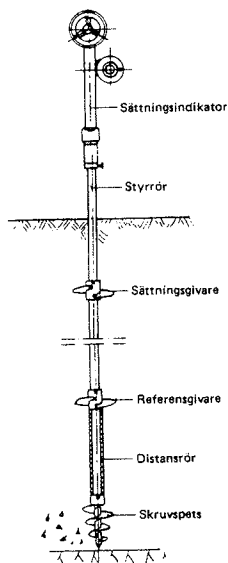


Fig. 76 Sättningsmätare med magnetskruvar.

Jordrörelser vid sprickor i jorden kan med fördel följas på detta sätt. För att få god noggrannhet vid optisk mätning bör fasta uppställ anordnas för teodoliten. Dessutom kan stereofotografering användas för horisontalrörelsemätning (78) när man har ett stort antal mätpunkter.

Enligt (79) ger mätning med stålmåttband en noggrannhet av ca 5 mm på 30 m mätsträcka. Om korrektionen för bandsjunkning, sträckning, temperatur och marklutning görs kan noggrannheten förbättras till ± 1 mm på 30 m mätlängd.

Ett exempel på precisionsmätinstrument med invarwires utgör enligt (79) Distometer ISETH. Instrumentet, en mätklocka, visar längdändringen på invarwiren. Mätnoggrannheten uppges vara $\pm 0,02$ mm på upp till 20 m mätlängd.

För mätning av horisontala jordrörelser på visst djup under markytan använder man vanligen en inklinometer, Fig. 77, som mäter lutningen hos ett plaströr på olika djup under markytan.

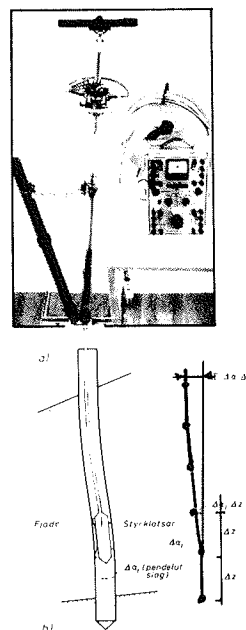


Fig. 77 Inklinometer typ SGI.

Inklinometern består av en mätkropp, förlängningsstänger med kabel, gradskiva med kikarsikte samt en mätbrygga. Mätkroppen består av ett rör med styrklotsar och styrfjäder så att den väl kan ansluta till rörväggen i det yttre plaströret. I mätkroppen finns en pendel som hänger i en bladfjäder på vilken man klistrat trådtöjningsgivare. Mätkroppen är torsionsstyvt förbunden med skarvstängerna som normalt är 1 m långa. Skarvarna mellan dessa är också torsionsstyva. Härigenom kan mätkroppens (pendelns) orientering i horisontalplanet direkt avläsas på horisontalcirkeln över markytan. Kikarsiktet används för att låsa fast orienteringen mot lätt identifierbara terrängföremål t ex huskant, kyrkspira eller liknande. Med hjälp av mätbryggan kan pendelns lutning relativt lodlinjen avläsas efter kalibrering.

Inklinometermätning kan göras i t ex centrurnör på pålar men görs normalt i plaströr \varnothing 50 mm, som drivs ned i jorden på avsedd plats. Röret är så vekt att det vid vanligen förekommande rörelser väl följer jordens rörelser. Röret bör drivas så långt att de undre delarna med största sannolikhet ej kommer att röra sig. Skulle man härvid komma ned i fastare bottenlager bör röret nedtill förses med teleskopspets så att eventuella sättningar i jorden ej medför en utknäckning av röret. Den undre stabila delen av röret får utgöra en referens för horisontalrörelsemätningen.

Vid mätning bestäms rörets lutning i två mot varandra vinkelräta riktningar varav den ena normalt väljs parallellt med förväntad rörelseriktning. Lutningsmätningen utförs oftast på varje 1,0 m. För att kunna mäta horisontalrörelser på olika djup måste lutningsändringen i röret mätas med vissa tidsintervall. Med ledning av denna lutningsändring kan rörelserna på olika djup beräknas i de två mätriktningarna.

Fel i inklinometermätning kan uppkomma i den avlästa lutningen och på att man ej kunnat mäta i exakt samma riktning (bäring) vid olika mättillfällen. Felet i lutning bedöms vara mindre än 0,25 % och felet i mätriktning $\pm 0,5^\circ$. Dessutom kan uppkomma anliggningsfel vid inklinometerns placering i röret. Totalt innebär detta en mätnoggrannhet av ± 6 mm/20 m vertikalt rör. Större mätnoggrannhet kan erhållas genom upprepade mätningar samt genom att man studerar trender i rörelserna på vissa nivåer.

Det finns även andra typer av inklinometrar som bygger på olika mätprinciper. En mekanisk typ är den s k Geosonden där man mäter längdskillnaden mellan två stångsystem som monterats på diametralt olika sidor av sonden. Detta system kräver \varnothing 90 mm mätrör och är svårhanterligt vid långa rör. Geosonden kan även användas för sättningsmätning i horisontala rör.

För mätning av lutningsändringar i vertikala konstruktioner över mark, t ex sponter, byggnader och brolandfästen, kan man också använda den s k pendelinklinometern som utvecklats vid Statens geotekniska institut, Fig. 78. Utrustningen består av en 500 mm lång pendel upphängd i ett rektangulärt aluminiumrör. Röret kan fästas på mätobjektet med magnetfästen. Vid icke magnetiskt material fästs stålbrickor fast i konstruktionen.

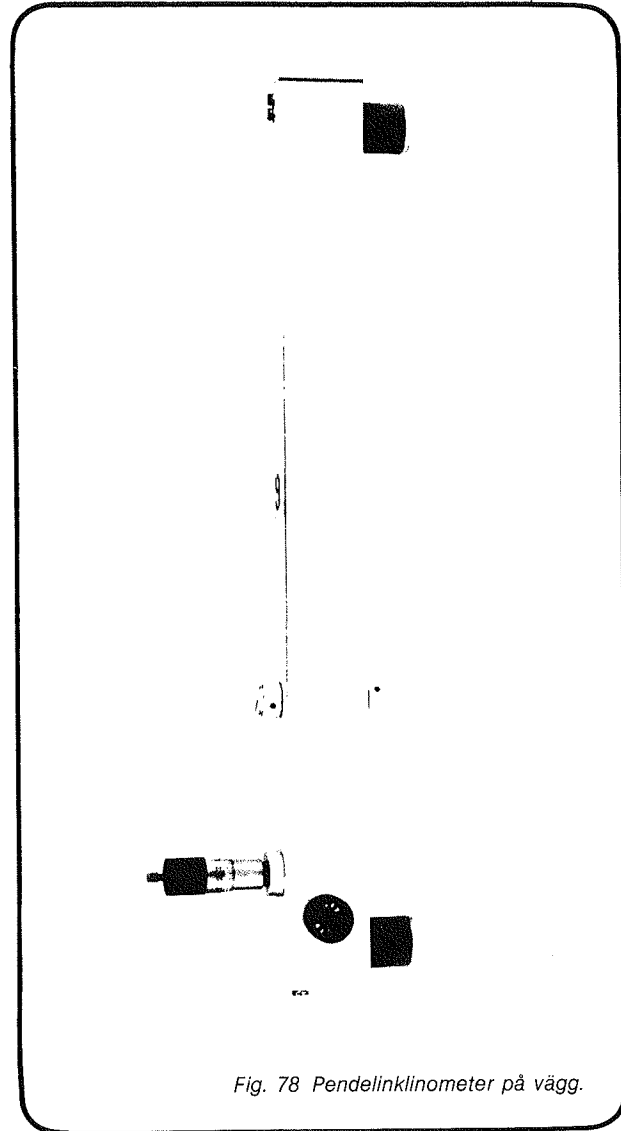


Fig. 78 Pendelinklinometer på vägg.

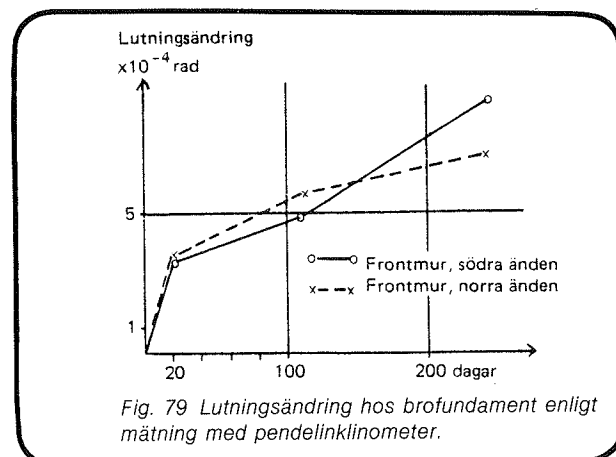


Fig. 79 Lutningsändring hos brofundament enligt mätning med pendelinklinometer.

I pendelns nedre ände är fäst en magnet, som kan lokaliseras med hjälp av ett tungelement som i sin tur är fäst på en mikrometerskruv. Genom upprepade mätningar kan lutningsändringen på konstruktionen bestämmas. Fig. 79. Mätnoggrannheten bedöms vara 0,02 mm/m som motsvarar $\pm 2 \cdot 10^{-5}$ radianer. Utrustningen användas också som varningssystem varvid man ställer in mikrometern på en viss lutningsändring och erhåller en varningssignal när denna uppkommit.

För att mäta rörelser i byggnader främst ändringar i sprickvidder kan man använda ytterligare ett antal instrument. De enklaste av dessa är sprickmallar eller spricklupp med vilka man kan mäta sprickvidden på 0,5 - 0,1 mm när. Har man inte en skarpkantad spricka måste man skapa definierade mätpunkter med t ex metallbleck som fästs vid väggen (79).

Mätning med mikrometerskruv, Fig. 80, ger ökad mätnoggrannhet. Dock erfordras att man fäster in noggrant utformade mätklackar på väggen. Med mikrometerskruvorna kan förändringar på 0,01 mm avläsas. För att ytterligare öka mätnoggrannheten kan s k extensiometrar användas.

Om man vill ha en registrerande eller elektrisk indikering av rörelserna måste man använda elektriska rörelsegivare av induktiv eller trådtöjningsgivartyp,

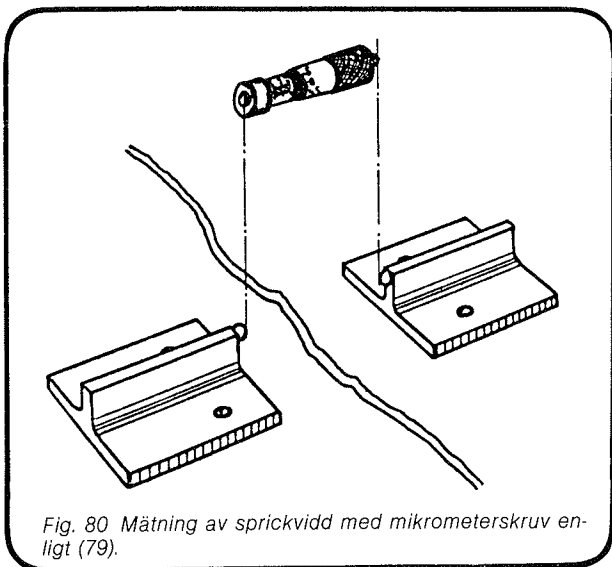


Fig. 81. Denna typ av givare kan också användas vid sättningsmätning när man önskar en elektrisk indikering eller automatisk registrering. Mätnoggrannheten beror till stor del på upplösningen i mätinstrumentet men kan bli 0,1 - 0,01 mm.

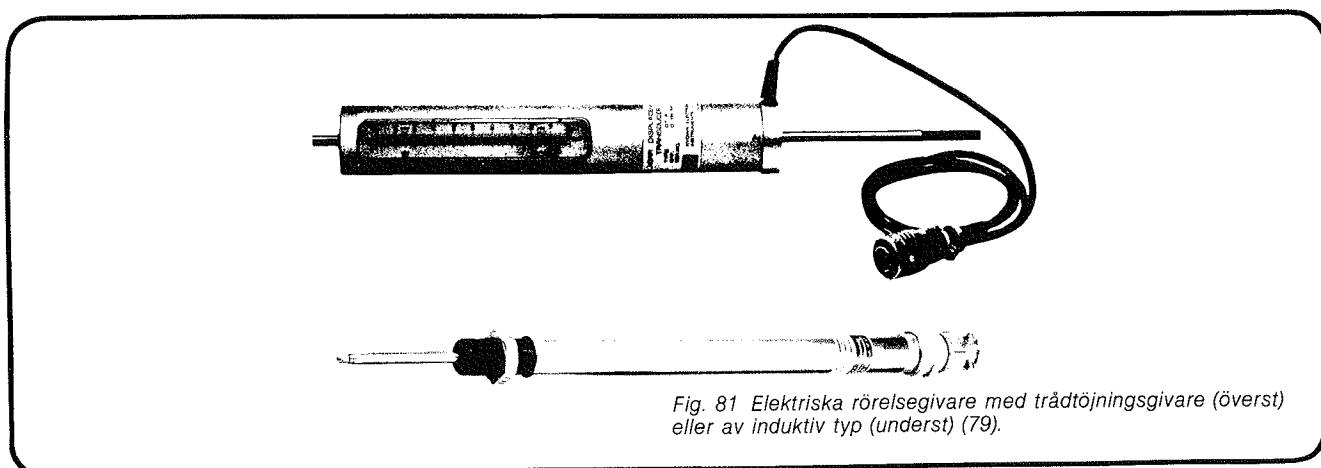
MÄTNING AV SPÄNNINGAR I JORD

Mätning av spänningar i jord används ibland vid stora eller speciellt känsliga konstruktioner t ex jorddammar, sponter, stödmurar eller i lera där man vill mäta vilka jordtryck som uppkommer vid t ex påslagning. Mätning av spänningar i jord har också blivit allt viktigare för att man skall kunna verifiera resultaten av de förfinade beräkningar som idag kan göras med FEM-analys. Möjligen kan man också med jordtrycksmätning bedöma statusen hos en slänt i lera.

Vid jordtrycksmätning skiljer man på mätning i jord och mot en konstruktion. Vid mätning i jord bör styvheten hos mätkroppen vara densamma som styvheten hos den jordvolym den ersätter och vid mätning mot en konstruktion bör styvheten vara lika stora som konstruktionens styvhet. Eftersom det kan vara svårt att uppfylla dessa önskemål har man många gånger valt att använda samma mätkropp för olika slag av mätuppgifter, eventuellt med modifiering.

NGI-mätaren (Geonor) användes ursprungligen för att mäta jordtryck mot sponter (80). Mätaren, Fig. 82, består av ett membran med två armar på vilka monterats en svängande sträng. Vid en belastning på membranet ändras egenfrekvensen i strängen. Frekvensändringen är proportionell mot trycket mot membranet, Fig. 83.

En annan i Sverige använd jordtrycksmätare är Glötzldosan där själva dosan består av två plåtar med en mellanliggande vätska, Fig. 84 (81). Vid mätning i jord används olja medan man vid mätning av tryck mot konstruktioner använder kvicksilver. Trycket i vätskan överförs via ett kort rör till en tryckkammare vid vars ena vägg finns ett mätmembran. Mot baksidan av detta membran mynnar två ledningar för luft eller olja; en tryck- och en returledning.



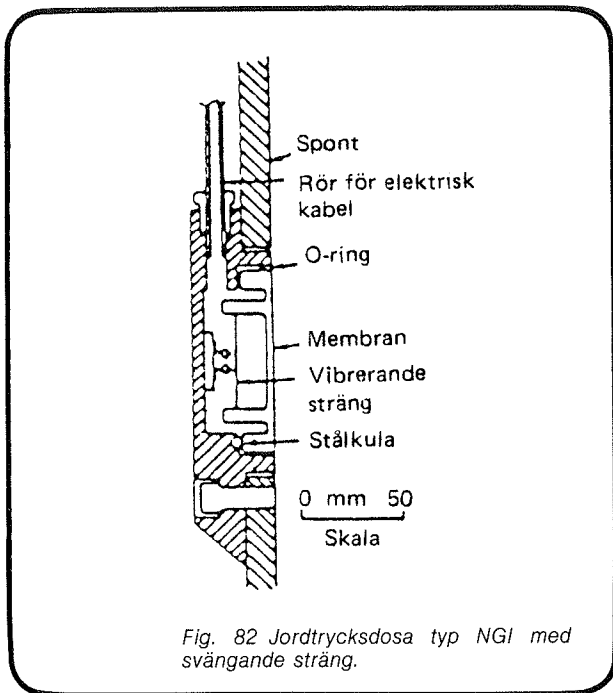


Fig. 82 Jordtrycksdosa typ NGI med svängande sträng.

Vid mätning ökas trycket i tryckledningen med luft eller olja tills membranet lättar något från sin bädd och släpper tryckmediet över i returledningen. Härvid erhålls ett jämviktsläge där jordtrycket anses uppnått.

Vid KTH har man utvecklat en ny tryckdosa huvudsakligen för jordtrycksmätning i lera, som bygger på Glötlmätningsprincipen (82). En spadliknande tryckdosa med stor area trycks ned i jorden skyddad av en stålram, Fig. 85 a. Ca 0,5 m från avsedd mätnivå pressas tryckdosan ur skyddshöljet. På detta sätt undviker man skador på tryckdosan under neddrivningen.

Tryckdosan består av en ca 5 mm tjock cell och mätningen som utförs med luft sker på samma sätt som för Glötlcellen ovan.

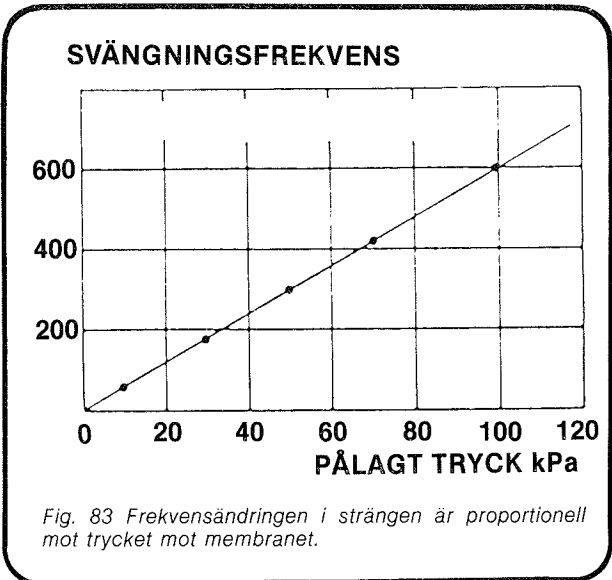


Fig. 83 Frekvensändringen i strängen är proportionell mot trycket mot membranet.

Andra metoder att mäta jordtryck är "Hydraulic fracturing"-metoden, som beskrivs i (83) och mätning med den självborrande pressometern (84).

TEMPERATURMÄTNING I JORD

Mätning av temperatur i jord används i samband med energilagring och utvinning av jordvärme. Det används också vid jorddammar för kontroll av läckage samt kontroll av att tjälen gått ur fyllningen efter en vintersäsong. Den senare mätningen bör även utföras vid grundläggning av byggnader vintertid som kontroll av att tjälad jord ej finns under grundplattor. I samband med vägforskning har temperaturmätning också använts för att klargöra effekterna av tjälisoleringar.

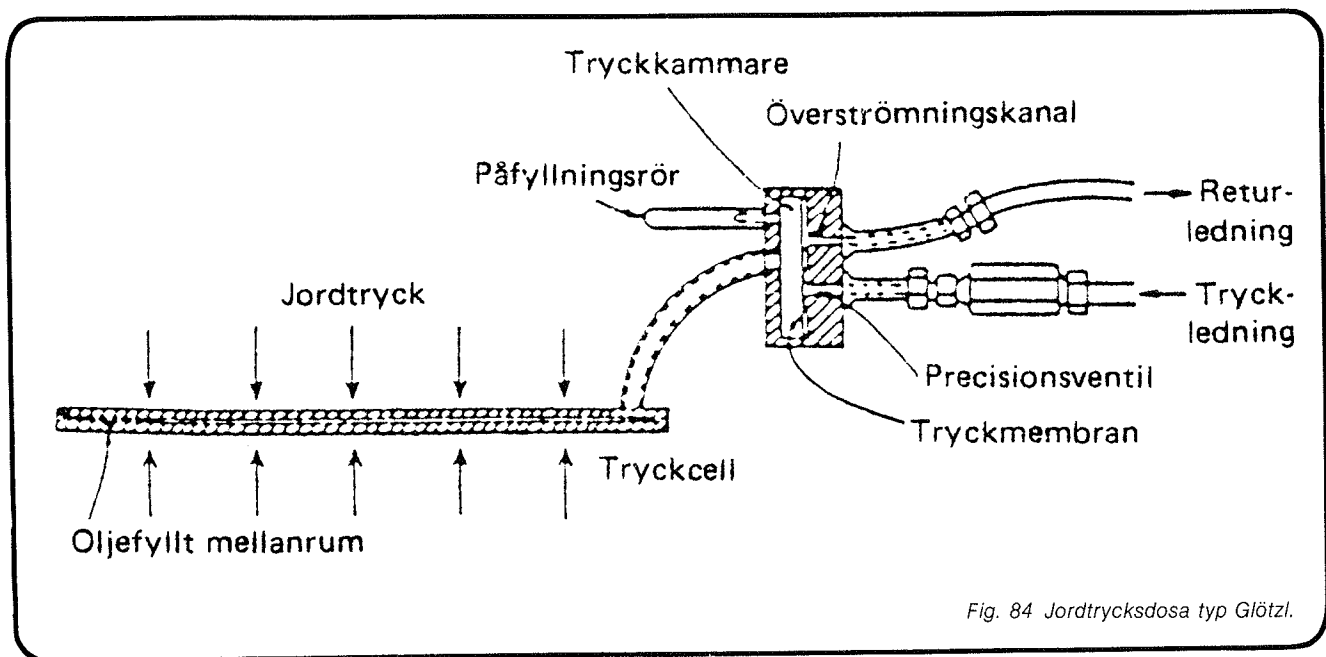


Fig. 84 Jordtrycksdosa typ Glötl.

När det gäller att enbart fastställa tjäle i jorden kan Gandahl's tjälgränsmätare användas, Fig. 86 (85). Mätaren baseras på att färgen hos en vätska ändras vid frysning. Mätaren består av ett yttre plaströr som sätts ned i direkt kontakt med jorden. I detta yttre foderrör placeras mätutrustningen, som i sin tur består av ett ca 2 m långt plaströr med proppar i ändarna. Mellan propparna har i röret spänts en plastslang som ger expansionsmöjlighet för vätskan. Utrymmet mellan plaströr och slang är fyllt med destillerat vatten som färggats med metylenblått. När mätröret förs ned i tjälad jord fryser vattnet till is varvid blåfärgningen försvinner. Skillnaden mellan blå ofrusen vätska och klar genomskinlig är markant.

Direkt mätning av temperatur i jord är normalt inte möjlig. Därför har man valt indirekta elektriska metoder av olika slag där man mäter förändringar av vissa ledaregenskaper, som är temperaturberoende. Det finns ett stort urval av givare på detta område:

- motståndstermometrar
- termistorer
- termoelement
- svängande strängtermometrar
- halvledargivare

Mätnoggrannheten beror av givartyp, önskvärt mätområde samt mätinstrumentets upplösning.

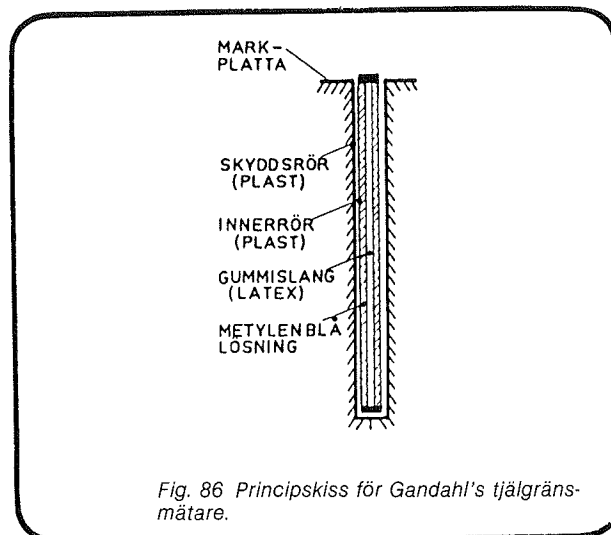
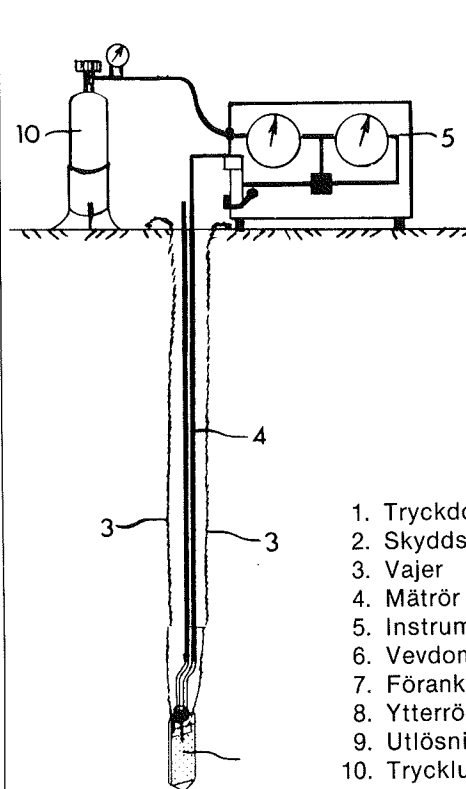
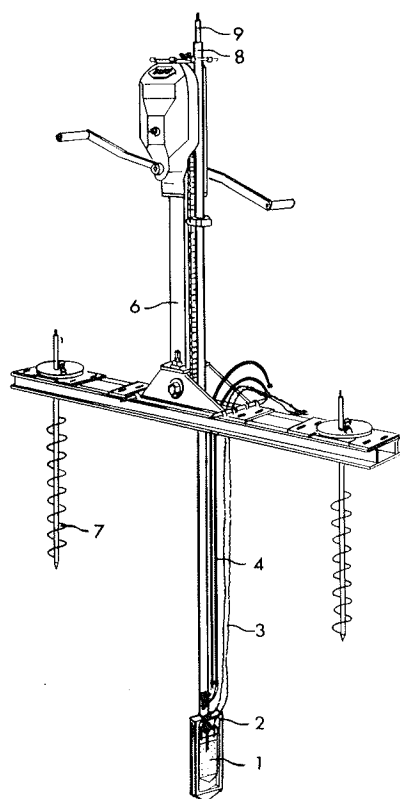


Fig. 86 Principskiss för Gandahl's tjälgränsmätare.

PACKNINGSKONTROLL

Kontroll av jords packning utförs vid jorddammar, grundläggning på packad fyllning samt vid väg- och gatuarbeten. Ofta eftersträvar man en viss packningsgrad, varvid man avser förhållandet mellan erhållen densitet och maximal densitet enligt packningsförsök i laboratorium på samma jordart. Ofta är dock packningsgraden i sig ointressant eftersom de egenskaper man oftast är intresserad av är jordens permeabilitet, hållfasthet eller kompressions-egenskaper. På grund av detta förändras metoderna för packningskontroll successivt (kompaktome-



1. Tryckdosa
2. Skyddsram
3. Vajer
4. Mätrör
5. Instrument
6. Vevdomkraft
7. Förankringsskruv
8. Ytterrör
9. Utlösningstång
10. Tryckluft

Fig. 85 a-b Jordtrycksdosa typ KTH med neddrivnings- och mätanordningar.

ter, fallvikt- eller plattförsök). Ännu är dock kontroll av packningsgraden den vanligaste kontrollmetoden (volymeter, isotopmätare eller komprimerer). Dessutom kan packningskontroll göras genom en utförandekontroll. Eftersom packningsresultatet är direkt beroende av jordens vattenkvot måste denna kontroll också göras. I stenig jord kan man vid laboriepackning ej ha med grovt grus eller sten varför en korrigerig i så fall måste göras med hänsyn till stenhalt (86). Vid provtagning bör man också beakta att en väldigt ofta inte förmår packa med full effekt närmast ytan. Prov bör därför göras minst 0,2 m under ytan.

Oftast kontrolleras packning av jord med sk utförandekontroll varvid man enbart noterar att det föreskrivna packningsarbetet (antal överfarter) utförs och angivet redskap används samt att skiktjockleken ej är större än vad som gäller för redskapet. Erfarenhetsmässigt vet man då att man erhåller minst en viss packningsgrad. Lämpligt är att man gör ett antal stickprovskontroller av erhållen packningsgrad med annan metod eftersom alla jordar ej är lika packningsbenägna och packningsgraden dessutom beror av vattenkvoten i jorden.

Det vanligaste sättet för densitetsbestämning i jord torde vara vattenvolymetermetoden, Fig. 87. Man tar i provytan ut en grop med ca 150 mm diameter och 100 à 150 mm djup och bestämmer volymen genom att fylla hålet med vatten inneslutet i en gumblåsa. Därefter genomförs vägning och bestämning av vattenkvot och stenhalt, se vidare (86). Metoden ger missvisande resultat vid stor stenhalt. Vid stenig jord bör större prov (ca 10 lit) tas varvid man får placera en stor plastpåse i hålet och fylla på vatten manuellt.

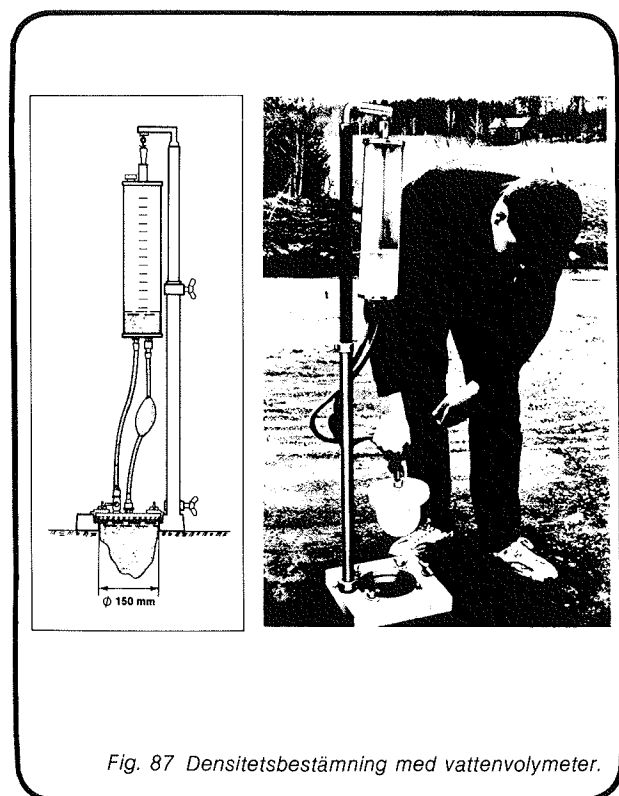


Fig. 87 Densitetsbestämning med vattenvolymeter.

Ett annat sätt att bestämma hålets volym är med sandvolymeter, Fig. 88. Hålet fylls med torr sand på ett noga specificerat sätt så att en bestämd densitet erhålls. Genom att bestämma massan hos den påfyllda sanden kan gropens volym mätas. Även med denna metod är det svårt att få relevanta värden i stenig jord, se vidare (86). I finkornig jord kan man också använda cylindervolymeter där man trycker ned en provcylinder i jorden med känd volym som grävs fram och losskårs från jorden, Fig. 89 (86).

I Norge har man utvecklat en annan metod för bestämning av jordens packningsgrad som kallas komprimerer (typ Geonor). Metoden bygger på att man får en undanträngning (uppluckring) i en packad jordyta om man slår ned en stång i jorden. Vid lös jord erhålls istället en packning. Hävningsvolymen mäts med en vätska som innesluts av ett gummemembran som läggs an mot jordytan, Fig. 90 (87). Genom försök har man direkt kunnat korrelera packningsgrad och den uppmätta hävningsvolymen, Tabell 3.

Isotopmätare (Gammasond) är en direkt metod för bestämning av jordens densitet. Den har hittills inte fått någon större användning i Sverige beroende på att den fordrar noggrann kalibrering för aktuell jord och att justering måste göras för vattenkvot och stenhalt.

Metoden bygger på att den återspridda gammastrålningen, som beror av jordens densitet, mäts med en impulsräknare. Mätvärdet översätts till densitet med hjälp av en kalibreringskurva.

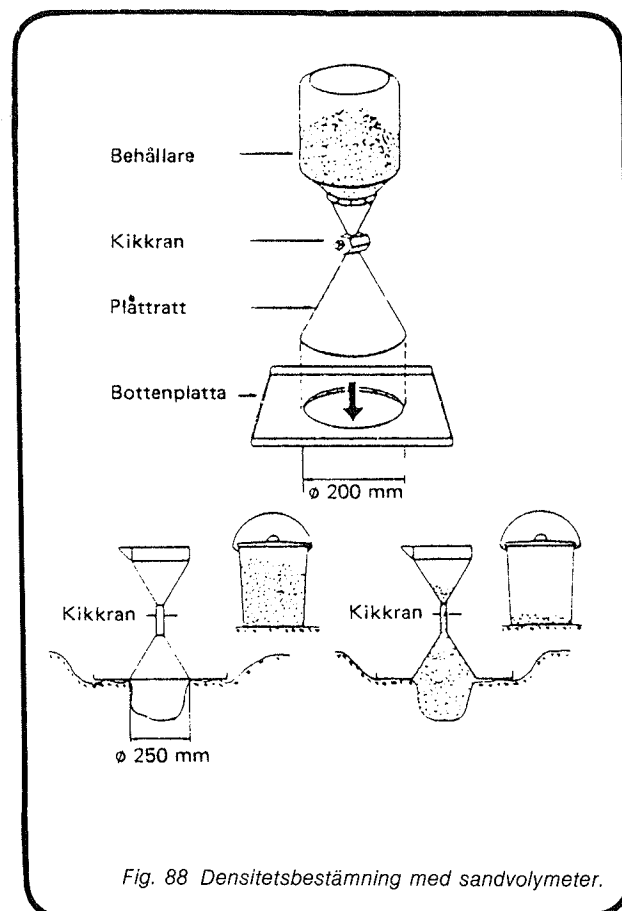


Fig. 88 Densitetsbestämning med sandvolymeter.

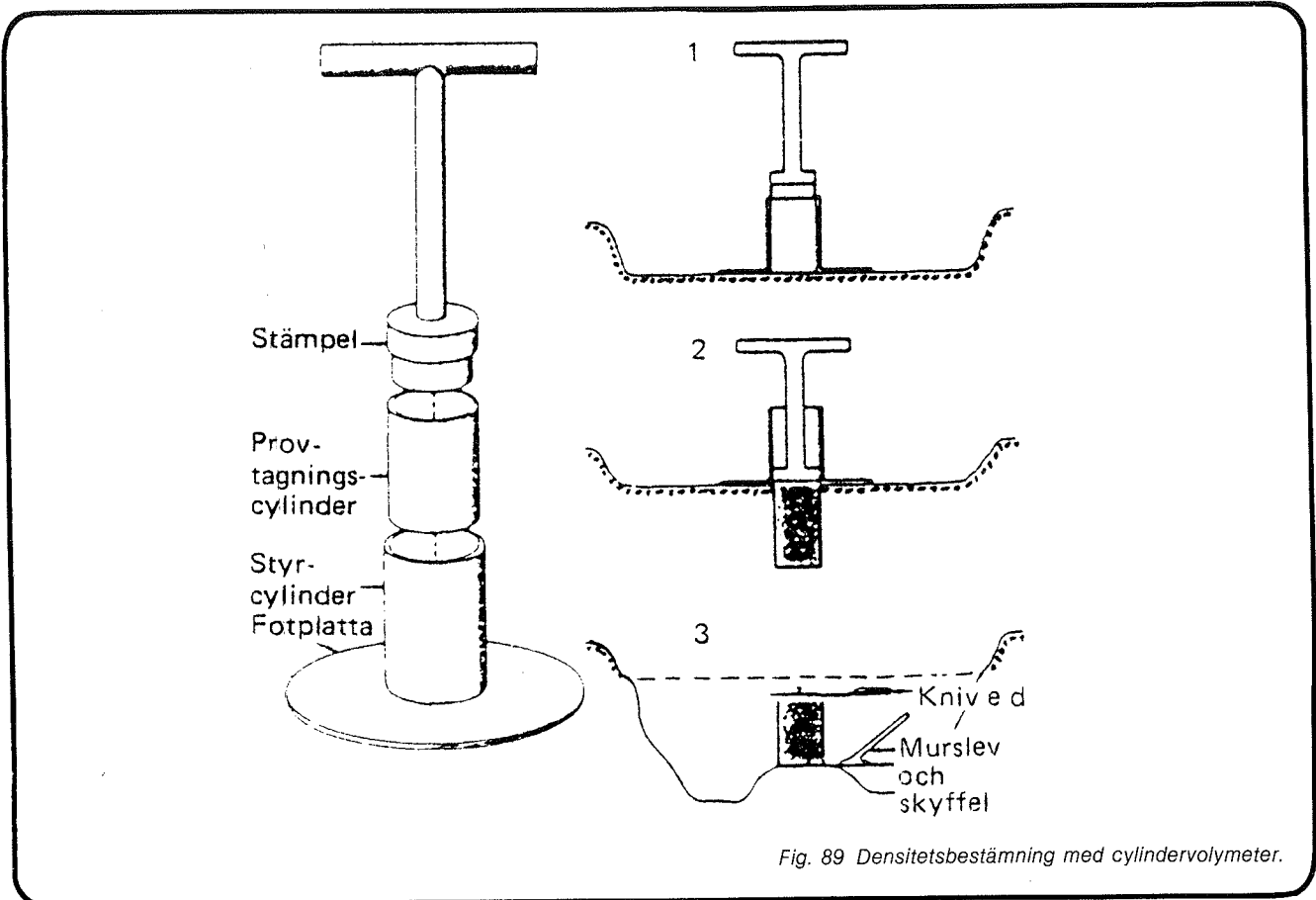


Fig. 89 Densitetsbestämning med cylindervolymeter.

Jordens deformationsegenskaper vid dynamisk belastning, som för en viss jord är direkt beroende av jordens densitet, kan bestämmas med fallviktsförsök, Fig. 92 (88). Även för denna metod erfordras kalibrering för aktuell jordart. Dessutom är resultatet beroende av ytans planhet. Med anledning härav har man för vägbyggnadsändamål utvecklat specialutrustningar som skiljer sig från den visade principbilden (89).

Under senare år har man inom Dynapac och Geodynamik utvecklat en elektrisk mätteknik för kontroll av packningsresultatet, kompaktometern. Härvid mäter man kontinuerligt vibrationerna hos valsem på packningsmaskinen med en accelerometer, Fig. 93 (90).

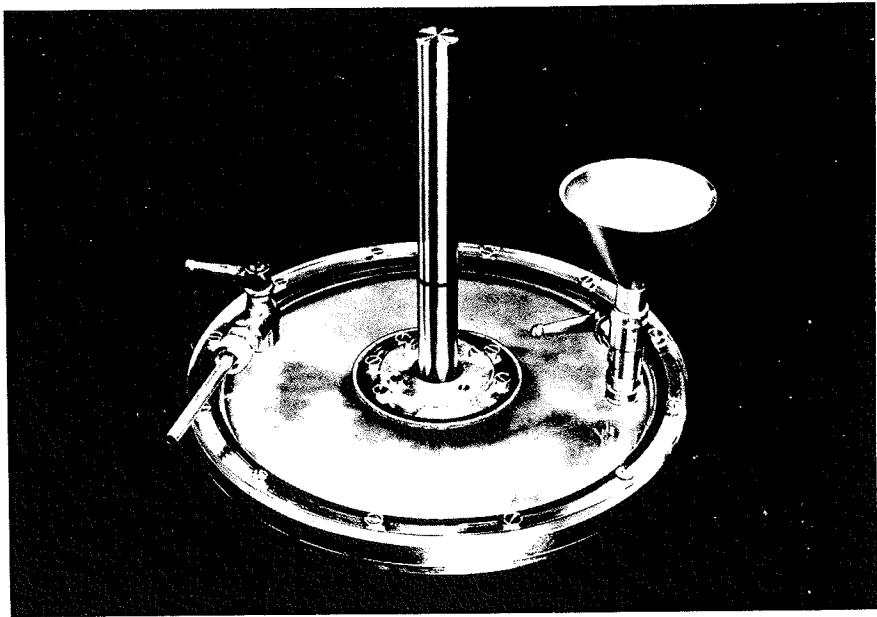


Fig. 90 Komprimeter typ Geonor.

Packningsgrad

Mycket Liten liten	Medel	Hög	Mycket hög
-----------------------	-------	-----	---------------

Vätske- volym, cm ³	< 35	35—50	50—70	70—90	> 90
-----------------------------------	------	-------	-------	-------	------

Tabell 3. Packningsgrad som funktion av uppmätt hävningsvolym mätt med komprimeter (87).

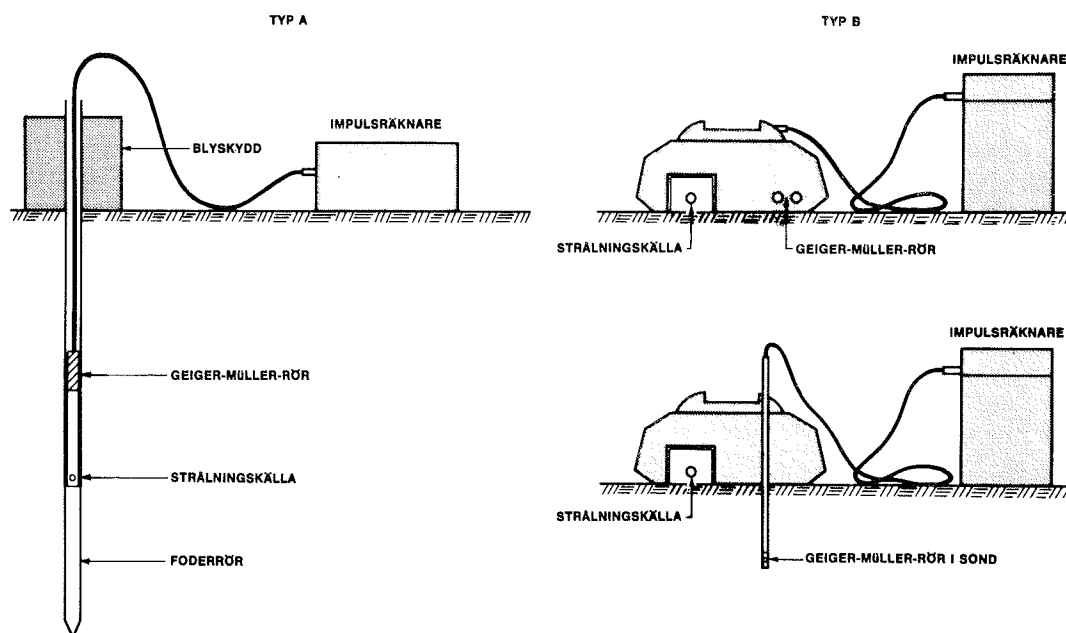


Fig. 91 Densitetsmätning med isotopmätare olika typer. (86).

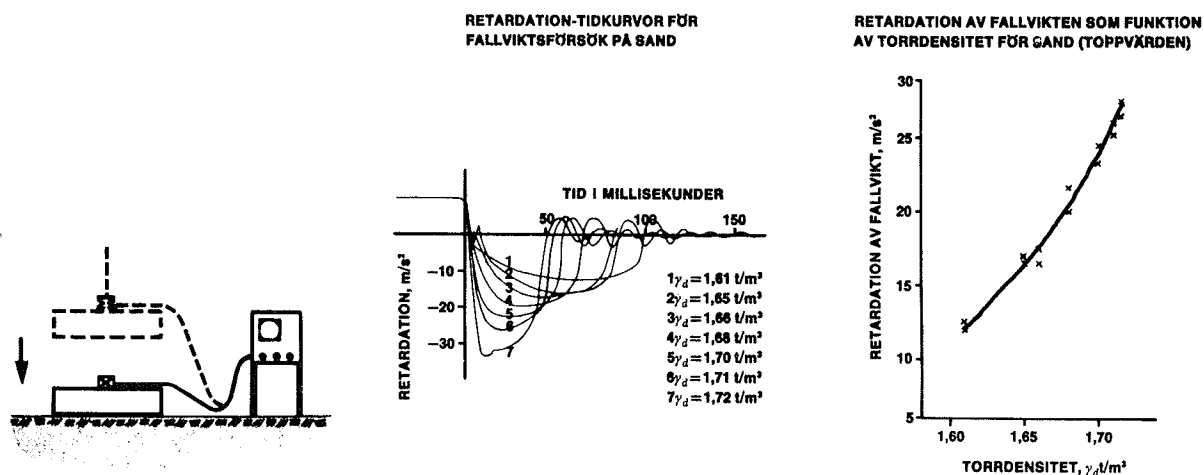
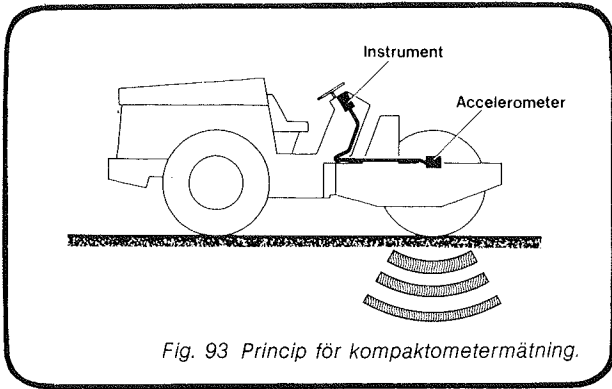


Fig. 92 Bestämning av densitet med hjälp av retardationen för en fallvikt (86).



Mätresultatet redovisas för föraren som ett kompaktometervärde som är ett mått på packningsgraden, se Fig. 94. För varje projekt bestäms genom kalibrering ett visst minsta kompaktometervärde efter vilket sedan föraren direkt kan kontrollera resultatet av sitt arbete.

Om man nöjer sig med samma krav på den packade jordens egenskaper som ställs på naturligt lagrad jord vid grundläggning kan också olika sonderingsmetoder eller pressometermätning användas vid kontroll av packning. Härvid kan kontrollen göras sedan hela fyllningen uppförts till full höjd.

VIBRATIONS MÄTNING

I samband med sprängnings-, pålnings- och spontningsarbeten måste ofta kontroll av markskakningarna i omgivningen utföras. För sådana undersökningar används vibrationsmätare, ofta direktregistrerande vibrationskrivare, som mäter båda amplitud och frekvens hos vibrationerna i jorden.

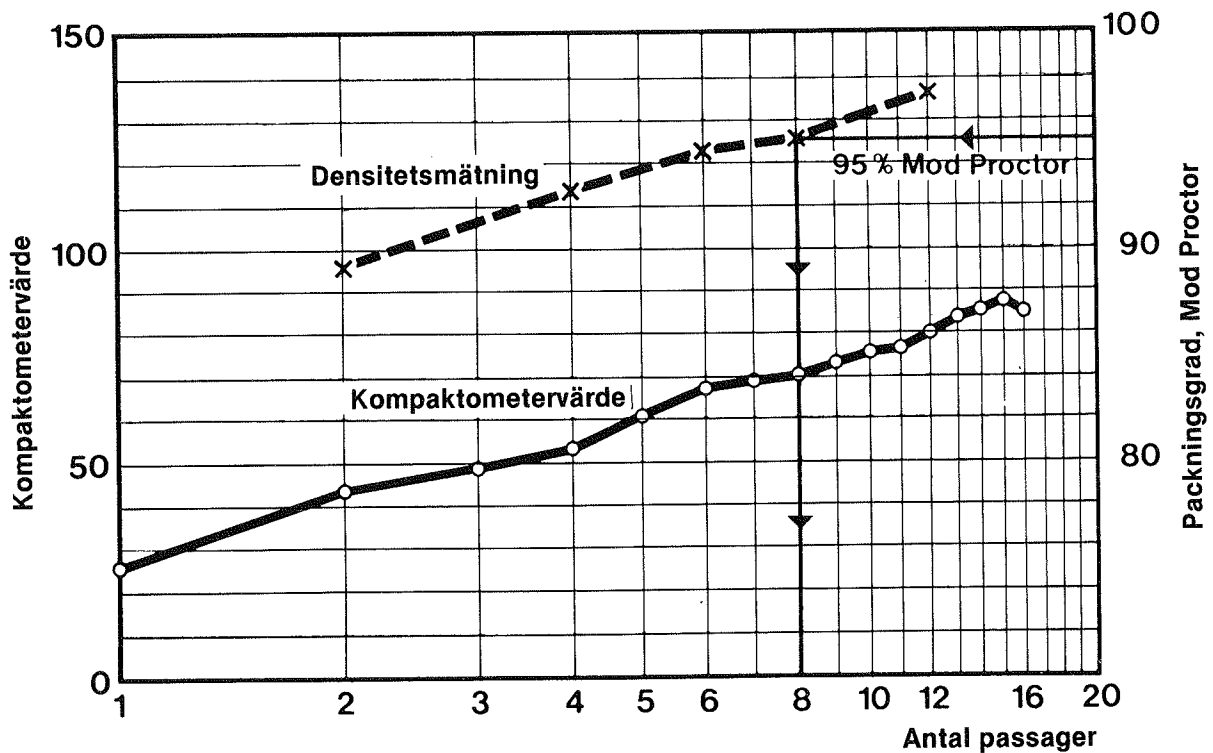


Fig. 94 Jämförelse mellan kompaktometervärden och packningsgrad (90).

- (1) Geoteknik med grundläggning. Geoteknikerns arbetsuppgifter (1973). SKIF Checklista 18/73.
- (2) Geoteknisk ordlista (1975). Tekniska Nomenclaturcentralens publikationer nr 59, Stockholm.
- (3) Bergdahl, U, Eriksson, U (1983). Bestämning av jordegenskaper med sondering — en litteraturstudie. Statens geotekniska institut, Rapport 22.
- (4) Svenska geotekniska föreningen (1979). Rekommenderad standard för sondering.
- (5) Svenska geotekniska föreningen (1982). Betäckningar vid geotekniska undersökningar. Blad 1-4.
- (6) Upphandling av geotekniska utredningar. Anvisningar och kommentarer (1971). Svenska geotekniska föreningen, Stockholm.
- (7) Bergdahl, U (1969). Resultat av försök med viktsond. Statens geotekniska institut, Särtryck och Preliminära Rapporter No 31, Stockholm.
- (8) Möller, B, Bergdahl, U (1982). Estimation of the sensitivity of soft clays from static and weight sounding tests. Proc. 2nd Europ. Symp. on Penetration Testing, Balkema, Rotterdam.
- (9) Broms, B, Bergdahl U, (1982). The weight sounding test (WST), State-of-the-art report (1981). Proc. 2nd Europ. Symp. on Penetration Testing, Balkema, Rotterdam.
- (10) Geotekniska fältundersökningar. Metoder-Erfarenheter-FoU-behov (1982). Statens geotekniska institut, Rapport No 16, Linköping.
- (11) Geoteknisk fälthandbok (1973). AB Jacobson & Widmark, Lidingö.
- (12) Bergdahl, U (1975). Standard för trycksondering. Statens geotekniska institut, Särtryck och Preliminära Rapporter No 58, Stockholm.
- (13) Lindskog, G et al (1980). Geoteknik. Esselte Studium, Berlings Arlov.
- (14) Kallstenius, T (1961). Development of two modern continuous sounding methods. Proc. 5th Int. Conf. on Soil Mech. and Found. Eng. Paris.
- (15) Bergdahl, U, Dahlberg, R (1973). Utveckling av den svenska hejarsonderingsmetoden. Bygghöjningen R72:1973, Stockholm.
- (16) Bergdahl, U, Möller, B (1981). The static-dynamic penetrometer. Proc. Xth Int. Conf. on Soil Mech. and Found. Eng., Vol 2, Stockholm.
- (17) Hellman, L (1969). Försök med hejar- och motorslagsondering. Statens geotekniska institut. Särtryck och Preliminära Rapporter No 31, Stockholm.
- (18) Hultman, G, Olsson, B (1965). Bergborrmaskinens användbarhet för jordsondering. Chalmers Tekniska Högskola. Examensarbete G 65/1 i Geoteknik vid grundläggning, Göteborg.
- (19) Sjöberg, S-G, Kjellman, A (1970). Utveckling av slagsonderingsmetoden. Tekniska Högskolan i Stockholm. Examensarbete i Geoteknik, Stockholm.
- (20) Lundström, R, Stenberg, R (1963). Jordbergborring och bergindikering. Teknisk Tidskrifts häfte 6.
- (21) Svenska geotekniska föreningens sonderingskommitté, arbetsgruppen för jord-bergsondering (1974). Jord-bergsondering, Statens institut för byggnadsforskning, Informationsblad B16:1974, Stockholm.
- (22) Torstensson, B-A (1975). Pore pressure sounding instrument. Proc. Conf. on In Situ Measurement of Soil Properties. June 1-4, 1975. Raleigh N.C. ASCE, New York.
- (23) Eskilson, S, Andréasson, L (1979). Fältbestämning av konsolideringskoefficienten med portrycksmätare. Statens geotekniska institut, Varia projekt 511847742-0, Linköping.
- (24) Svensk Byggnorm (1980). Statens Planverks författningssamling 1980:1, kap. 23:23. Libertryck, Stockholm.
- (25) Bronormerna (1976). Statens Vägverk, TB 103, Östervåla.
- (26) Menard, L (1975). The interpretation of pressuremeter test results. Sols-soils No 26.
- (27) Baguelin, F, Jézéquel, J F, Shields, D H (1978). The pressuremeter and foundation engineering. Trans. Tech, Publication.
- (28) Schmertmann, J H (1970). Static cone to compute static settlement over sand. ASCE, SM 3.

- (29) Schmertmann, J H, Hartmann, J P, Brown, P R (1978). Improved strain influence factor diagrams. ASCE, GT8, 1131-1135.
- (30) De Beer, E E (1965). Bearing capacity and settlement of shallow foundations on sand. Proc. Symp. Bear. Cap. Settl. Found. Duke Univ. 1965, Lecture 2, pp. 15-33.
- (31) Schultze, E, Sherif, G (1973). Prediction of settlements from evaluated settlement observations for sand. Proc. 8th ICSMFE, Moscow (1.3), 225-230.
- (32) Parry, R (1971). A direct method of estimating settlement in sands from SPT-values. Proc. Conf. Midlands Soil Mech. and Found. Eng. Soc. Birmingham, pp. 29-37.
- (33) Parry, R (1977). Estimating bearing capacity in sand from SPT values. ASCE, GT9, 1014-1019.
- (34) Geotekniska undersökningar för broar. Statens Vägverk TV 107.
- (35) Kallstenius, T (1963). Studies on clay samples taken with standard piston sampler. SGI Proc. No 21, Stockholm.
- (36) Holm, G, Holtz, P D (1977). A study of large diameter piston samplers. Int. Symp. on soft clay. Bangkok.
- (37) Larsson, R (1982). Får vi några ostörda prover med standardkolvborren? Statens geotekniska institut, Intern rapport, Linköping.
- (38) Swedish Committee on Piston Sampling (1961). Standard Piston Sampling. Statens geotekniska institut, Proc. No 10, Stockholm.
- (39) Kallstenius, T, Hallén, A (1963). Anvisningar för geotekniska institutets fältundersökningar, Del 2. Provtagning med Standardkolvborr St I, Stockholm.
- (40) Borros AB (1964). Anvisningar för provtagning med Standardkolvborr St II, typ Borro. Södertälje.
- (41) Kjellman, W, Kallstenius, T, Wager, O (1950). Soil sampler with metal foils. Statens geotekniska institut, Proceedings No 1, Stockholm.
- (42) Adestam, L (1981). Portable geotechnical equipment. Proc. Xth Int. Conf. on Soil Mech and Found. Eng. Stockholm 1981. Balkema, Rotterdam.
- (43) Arbetarskyddsstyrelsen (1975). Till Dig som jobbar med schaktning. ADI nr 31. Lund.
- (44) Arbetarskyddsstyrelsen (1981). Gräv säkrare. Tips om hur jord fungerar. H 7. Nässjö.
- (45) Statens Vägverk (1976). Provgropsundersökning. TV 132, Stockholm.
- (46) Johansson, H G, Söderström, T (1980). Ny provtagare vid borrhning i friktionsjordarter. Väg- och Vattenbyggaren nr 10, 1980.
- (47) Jonasson, K (1975). Haamer vibrocorer and its effect on the geotechnical properties of cohesive sediments in Gothenburg harbour, Sweden. Marine Geotechnology, Vol 1, No 3, 1975.
- (48) Thomas, K W (1964). A new design for a peat sampler. New Phytol. 63, pp 422-425.
- (49) Belokoputov, I E, Beresnevich, U V (1965). Giktorf's pent. borers. Torf Prom. 8, 9-10.
- (50) Flodin, N (1961). Anvisningar för geotekniska institutets fältundersökningar, Del 1. Statens geotekniska institut, Meddelande 4, Stockholm.
- (51) Andersson, O H (1948). Borrhning och dokumentation Lunds Universitet, avd för kvartärgeologi, Thesis 8, Lund.
- (52) Wiesel, C-E (1975). Bestämning av skjuvhållfasthet med fältvingborr. Statens geotekniska institut, Varia. Linköping.
- (53) Cadling, L, Odenstad, S (1950). The Vane Borer. An apparatus for determining the shear strength of clay soils directly in the ground. Statens geotekniska institut. Proc. 2, Stockholm.
- (54) Torstensson, B A (1973). Kohesionspålar i lös lera. Chalmers tekniska högskola, institutonen för Geoteknik med Grundläggning, Thesis. Göteborg.
- (55) Dahlberg, R (1966). A field test and comparative laboratory tests for determination of shear strength of clays. Statens geotekniska institut. Stockholm.
- (56) Svenska Teknologföreningen (1976). Anvisningar för spont i ledningsgrav. Stockholm.

- (57) Andresen, A, Sollie, S (1966). An Inspection vane. Vane shear and Cone Penetration Resistance Testing of In-Situ soils. ASTM STP 399, Am. Soc. Testing mats p. 3.
- (58) Sökjer, G (1961). Sounding, measurement of shear strength in situ and sampling by means of the sounding borer driven by the boring machine A-sond. Proc, 5th Int. Conf. Soil Mech. and Found. Eng. 1961. Paris, Vol 1, pp 541-545.
- (59) The Menard Pressuremeter (1975). Interpretation and Application of Pressuremeter Test Results to Foundation Design. Menard General Memorandum D. 60. AN Sols Soils No. 26-1975.
- (60) Studies of Subgrade reaction coefficient k-value of soil ground (1976) OYO Technical Note TN-13. Tokyo.
- (61) Janbu, N, Senneseth, K (1973). Field compresometer — Principles and Applications. Proc. 8th Int. Conf. on Soil Mech, Found, Eng, Vol 11, pp. 191-198, Moskva.
- (62) Schwab, E (1976). Bearing capacity, strength and deformation behaviour of soft organic sulphide soils. KTH, Jord- och bergmekanik, Stockholm.
- (63) Dahlberg, R (1975). Settlement characteristics of preconsolidated, natural sands. Swedish Council for Building Research, Doenment D1:1975.
- (64) Denver, H (1980). Sætningsberegning for fundamenter på sandlag. DTH, Laboratoriet for fundering, Köpenhamn.
- (65) Orrje, O (1968). Dynamic loading tests on cohesionless soils with free falling weights compared with static plate loading tests. KTH, Institutionen för Geoteknik, Stockholm.
- (66) Augustsson, I (1981). Vertikaldränering. Jämförelse mellan tre dräntyper. Högskolan i Luleå. Examensarbete 1981:083 E.
- (67) Kallstenius, T, Wallgren, A (1956). Pore water pressure measurement in field investigations. SGI proc, Nr 13, Stockholm.
- (68) Torstensson, B-A (1975). Pore pressure sounding instrument. Disc. Session 1, Proc. ASCE, Spec. Conf. on In situ Measurements of Soil Properties Vol II, pp. 48-54, Raleigh, North Carolina.
- (69) Tholén, O (1980). Falling Weight Deflectometer — A device for bearing capacity measurement: Properties and performance. Institutionen för vägbyggnad, KTH, Stockholm.
- (70) Janbu, N, Bjerrum, L och Kjærnsli, B (1956). Veiledning ved løsning av fundamenteringsoppgaver. Norges Geotekniske institutt. Publikasjon nr 16. Oslo.
- (71) Di Giagio E (1977). Field Instrumentation — A Geotechnical Tool.
- (72) Geoteknisk ordlista (1975). Tekniska Nomenklaturcentralens publikationer nr 59, Stockholm.
- (73) Bernell, L: Discussion. 8th Int. Congr. on Large Dams, Edinburgh 1964. Vol 5, s 506-509.
- (74) Bergdahl, U. Ny metod för mätning av sättningar hos bankfyllnader på kompressibla jordlager. Väg- och Vattenbyggaren nr 3, 1966. s 102-104, Stockholm.
- (75) Eskilsson, S, Bergdahl, U (1979). Förbättrad metod för sättningsmätning — slang-sättningsmätare SGI II. Nordiska geoteknikermötet i Helsingfors 1979, s 806-815, Esbo.
- (76) Wager, O (1972). Bålg-sättningsmätare för mätning av vertikallrörelser i jord. Nordisk geoteknikermöte i Trondheim 24-26 augusti 1972. NGI s 95-98.
- (77) Bergdahl, U et al (1979). Förebyggande av sättningar i ledningsgravar — en förstudie. Statens geotekniska institut, Rapport No 7. Linköping.
- (78) Massarsch, K R (1975). Deformationsmätningar vid slagning av pålar nära en stenmur — Resultat av stereofotogrammetriska mätningar. IVA:s Pålkommision, Rapport 49, Stockholm.
- (79) Bågevik, K (1979). Inventering av mätmetoder för rörelser i hus och mark. Byggeforskningen Rapport R88:1979. Stockholm.
- (80) Bjerrum, L et al (1965). Measuring instruments for strutted excavations. Journal of the Soil Mechanics and Foundations div. ASCE, Vol 91, SM1, s 111-141.
- (81) Hanna, T H (1973). Foundation Instrumentation. Transtech Publications, CH 4711 Aedermannsdorf.

- (82) Massarsch, K R et al (1975). Measurement of horizontal in situ stresses. Proc. ASCE Conf. on In situ Measurement of soil properties. Vol 1, Raleigh, USA.
- (83) Bjerrum & Andersen (1972). In situ measurement of lateral pressure in clay. Proc. 5th Europ. Conf. on Soil Mech and Found. Enggn. Madrid, Vol 1, pp 11-20.
- (84) Baguelin et al (1978). The pressuremeter and Foundation Engineering Trans. Tech. Publications Aedermansdorf, Schweiz.
- (85) Gandahl, R (1956). Bestämning av tjälgräns i mark med enkel typ av tjälgränsmätare. Statens Väginstytut. Svenska Vägföreningens Tidskrift 1956:2, Stockholm.
- (86) Svenska geotekniska föreningen. Förslag till geotekniska laboratorieanvisningar, del 5. Packningsegenskaper. BFR B2:1971.
- (87) Geonor A/S. Bruksanvisning H-28 Komprimer Oslo 1977.
- (88) Orrje, O (1968). Dynamic loading tests on cohesionless soils with free falling weights compared with static plate loading tests. KTH, Institutionen för Geoteknik, Stockholm.
- (89) Thalín, O (1980). Falling weight reflectometer — device for bearing capacity measurement: Properties and performance. Institutionen för vägbyggnad, KTH, Stockholm.
- (90) Forsblad, L (1981). Vibratory soil and rockfill compaction. Dynapac AB, Solna.

Bilagor

Uppdrag:

Datum:

Handl.:

ANVÄND BORRTRUSTNING

SONDERING

- HfA/HfB Hejarsond enligt SGF standard typ Borros, spets lös/fast
- Jb Jordbergsond BVB 23, BBC 120 F, stång \varnothing 32 mm, stiftkrona \varnothing 51 mm/fyrskärskrona \varnothing 48 mm, luft/vatten-spolning, mätningstryck MPa
- Jb Jordbergsond, borrhvagn ROC 600/60l, stång \varnothing 38 mm, fyrskärskrona \varnothing 64 mm, luft/vatten-spolning mätningstryck MPa
- Slb Motorslagsond typ Cobra/Pionjär/Wacker, stång \varnothing 22/25 mm, viktsondspets, fyrkantspets \varnothing 28 mm lös
- Sti Sticksond, stång \varnothing 22 mm, spets \varnothing 25 mm
- Tr Trycksond, typ SGI/Geotech/Borro/
- Vi Manuell viktsond enligt SGF standard
- Vim Maskinell viktsond enligt SGF standard typ Borros, vridningshastighet ca 30 r/min

PROVTAGNING

- Fo Foliekärnborr. Typ SGI
- Grk Gruskannborr, typ Borros \varnothing mm
- Js Jalusiborr
- K Kannborr typ
- Kv Kolvborr enligt SGF standard typ StI/StII
- Ps Provtagningspets \varnothing 25 mm för Slb/ \varnothing 34 mm för Hf
- Skr Skruvborr \varnothing 36/40/50/60 mm
- Sp Spadborr \varnothing 150 mm/170 mm

ÖVRIGT

- Vb Vingborr typ Nilcon/SGI/Borro, vingstorlek 55x110/65x130/80x160 mm, instrument typ SGI/Nilcon
- Rö Öppet rör för grundvattenståndsmätning \varnothing mm
- Pp Portrycksmätare typ SGI/Geonor/Geotech

.....

.....

.....

.....

.....

ÖVRIGA UPPLYSNINGAR

FIX

Vid avvägning av området mellan sektion och

har använts fixpunkt nr belägen i sektion

höger/vänster m.

UTSÄTTNING




Utsättning/Inmätning av borrhål har skett med utgångspunkt

från stakad baslinje/väglinje/polygonpunkt/ nr






belägen

REDOVISNING I PLAN



Sondering

-  Enkel sondering
(sticksondering utan angivande av jordens fasthet)
-  Statisk sondering
(t ex vikt- och trycksondering; jordens fasthet bestämd genom belastning, vid viktsondering med eller utan vridning)
-  Dynamisk sondering
(hejarsondering, sondering med slagborrmaskin eller genom vibrering)





Tillägg för djup- och bergbestämning

-  Sondering till förmodad fast botten
-  Sondering till förmodat berg (s k bergsvar erhållet)
-  Bergsondering minst 3 m under förmodad bergyta
-  D:o samt undersökning av borrhax
-  Kärnborring minst 3 m under förmodad bergyta





Provtagning

-  Störda prover
(vanligen tagna med spad-, kann- eller skruvprovtagare)
-  Ostörda prover
(vanligen tagna med kolvprovtagare av standardtyp)
Uppgift om använd provtagare finns i regel såväl på ritning som i geotekniskt utlåtande

Hydrologiska bestämningar

-  Vattennivå bestämd, i t ex provtagningshål
-  Grundvattennivå(-yta) bestämd vid kort- resp långtidsobservation (öppet system)
Jfr blad 4, hål 5
-  Provpumpning eller infiltrationsförsök
-  Portryckmätning


Övriga bestämningar

-  Vingsondering
(hållfasthetsbestämning in situ)
-  Deformationsmätning i fält
medelst t ex jordpegel eller inklinometer
-  Seismisk undersökning
Tecknet anger ändpunkt i undersökningslinje
-  Provgrop (större) eller geoteknisk undersökningspunkt i övrigt (t ex provbelastning)


Exempel

Kombination av tecken samt övrig redovisning i plan

Detaljerad redovisning

16
+8,30 80-03-14
A
+9,20  L 5,3 L 5,3 L 5,3
S 6,3 Fr 6,8 Fr(1,2)
Gr 6,8 (B)
B (4,0)
Ex 1 Ex 2 Ex 3

Enkel redovisning

16

Vid **enkel** redovisning är endast undersökningens nummer angivet

Enligt det kombinerade tecknet har följande undersökningar utförts:

- statisk sondering
- sondering ned i berg (minst 3 m under förmodad bergyta)
- tagning av ostörda prover
- bestämning av grundvattennivån vid korttidsobservation
- vingsondering

I övrigt betyder:

- (Förkortningar förklaras på blad 3)
- 16 undersökningens nummer
 - +8,30 grundvattennivå
 - 80-03-14 observationsdatum vid bestämning av grundvattennivå
 - A analys utförd för bestämning av t ex korrosionsrisk
 - +9,20 markytans nivå (eller annan utgångsnivå för djupangivelse)

Redovisning av lagerföljder enligt exempel till höger om tecken

Ex 1
L 5,3 lerans underyta ligger på 5,3 m djup
S 6,3 under leran följer sand ned till 6,3 m djup
Gr 6,8 därunder följer grus ned till 6,8 m djup
B (4,0) berg följer direkt under gruslagret, dvs. på 6,8 m djup; sondering har utförts 4,0 m ned i berget (för bergkontroll), dvs. till 10,8 m djup




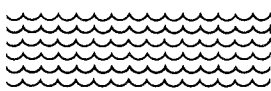
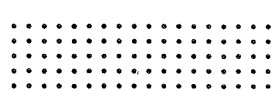






Ex 2
L 5,3 lerans underyta ligger på 5,3 m djup
Fr 6,8 under leran följer friktionsjord ned till 6,8 m djup
(B) berg bedöms följa på 6,8 m djup

Ex 3
L 5,3 lerans underyta ligger på 5,3 m djup
Fr (1,2) parentes anger att sondering utförts 1,2 m ned i friktionsjord

I vissa fall anges nivåer (plushöjder) i stället för djup under referensnivå

FÖRSTÄRKNINGSÅTGÄRDER

RASTER NR

LT 956		BANKPÅLNING
LT 959		PÅLDÄCK
LT 65		URGRÄVNING
LT 125		NEDPRESSNING
LT 914		VERTIKALDRÄNERING MED/UTAN ÖVERLAST
LT 83		ÖVERLAST
LT 83		SIDOTIPP
LT 68		TRYCKBANKAR
LT 124		TIDIG UTFYLLNAD
LT 130		LÄTT FYLLNING (Lättklinker/slagg/sågspån etc)
LT 57		BROKONSTRUKTION


















Anm. Rastren inläggs på ritningarna i den led som visas ovan och anpassas således ej till sneda sträckningar eller kurvor i plan eller sektioner.

**Svenska Geotekniska Föreningens
beteckningsblad**

REDOVISNING I SEKTION

Beteckningar för jordarter

Används vid provtagning
 Beträffande *bedömda* jordar vid sondering, se blad 4

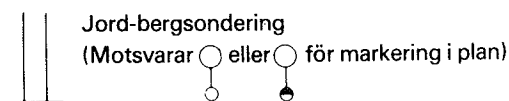
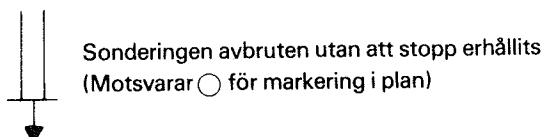
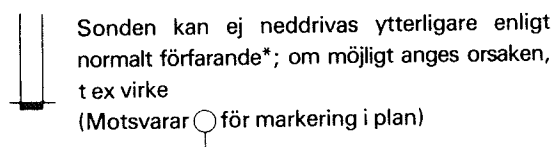
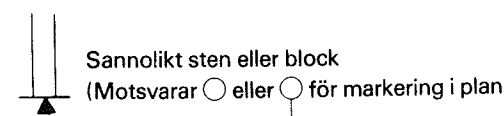
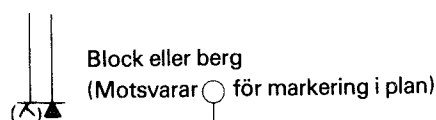
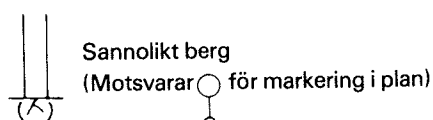
 Fyllning Fyllningens art angiven, som regel enl förkortningar på blad 3	 Lera	 Block
 Mylla (matjord)	 Mjåla (= finsilt och mellansilt)	 Morän (i allmänhet)
 Torv (i allmänhet)	 Finmo (= grovsilt)	
 Filttorv	 Grovmo och sand (= finsand, mellansand och grovsand = sand)	 Växtdeklar och trärester
 Dytorv	 Grus	 Snäckskal
 Dy eller gyttja	 Sten	 Block eller större sten, genomborrad(-d)

Blandjordarter anges genom kombination av
tecken

Andra påträffade material anges i text, t ex
virke

† Ersätter mjåla och finmo (grovmo hänförs till sand)

Sonderingshåls avslutning



Sonderingsdjup ned i bedömt berg (ritat skalenligt)

Bergtecken inom parentes innebär stor
osäkerhet i fråga om bergytans läge
Betr notering av sprickor och slag i berg, se blad 4

* Se "Upphandling av geotekniska utredningar. Anvisningar och kom-
mentarer", utgiven av SGF/SKIF 1971.

FÖRKORTNINGAR

(För berg, jord, utrustning och metoder)

Berg och jord

B	berg				
Bl	blockjord	bl	blockig		
Br	rösberg				
Dt	dytorv	dt	dytorvig	<u>dt</u>	dytorvskikt
Dy	dy	dy	dyig	<u>dy</u>	dyskikt
Ft	filttorv	ft	filttorvig	<u>ft</u>	filttorvskikt
G	gyttja	g	gyttjig	<u>g</u>	gyttjeskikt
Gr	grus	gr	grusig	<u>gr</u>	grusskikt
J	jord				
L	lera	l	lerig	<u>l</u>	lerskikt
M	mo (grovsilt och finsand)	m	moig	<u>m</u>	moskikt
M _f	finmo (= grovsilt)	m _f	finmoig	<u>m_f</u>	finmoskikt
M _s	grovmö (= finsand)	m _s	grovmöig	<u>m_s</u>	grovmoskikt
Mj	mjåla (= finsilt och mellansilt)	mj	mjålig	<u>mj</u>	mjålskikt
Mn	morån				
Mnl	morånlera				
My	mylla (matjord)	my	mullhaltig	<u>my</u>	mullskikt
S	sand	s	sandig	<u>s</u>	sandskikt
Si	silt	si	siltig	<u>si</u>	siltskikt
Sk	snäckskal	sk	med snäckskal	<u>sk</u>	snäckskalskikt
Skgr	skalgrus	skgr	skalgrusig	<u>skgr</u>	skalgrusskikt
St	stenjord	st	stenig	<u>st</u>	stenskikt
T	torv	t	torvig	<u>t</u>	torvskikt

F	fyllning (jfr blad 2)				
Vx	växtdelar (trärest)	vx	med växtdelar	<u>vx</u>	växtdelskikt
G/L	kontakt, gyttja överst, lera underst	()	något exempelvis	()	tunna skikt
t	(efter huvudord) torr- skorpa, t ex Lt och Sit = torrskorpa av lera resp silt	v	varvig		

Vid angivande av en blandjordart är adjektiven placerade före substantivet och så, att den kvantitativt större fraktionen står efter den mindre. Skiktangivelsen står efter substantivet. Exempel: sisL (si) = siltig, sandig lera med tunna siltskikt.

Sammanfattande förkortningar

Fr	friktionsjord	P	oorganisk eller organisk kohesionsjord
Ko	oorganisk kohesionsjord		Beteckningen används när man ej kan skilja på dessa jordar.
O	organisk jord	X	kan användas när jordart ej be- stämts eller jord ej bedömts

Fr, Ko och O används när man genom neddrivningsmotstånd eller hörselintryck (eller av närliggande provtagning) ej kunnat ange jordart. Kan även användas som sammanfattande beteckning vid provtagning.

Anm
Jord = jordskorpans lösa avlagringar (ej närmare definierade)
Jordart = klassificerad jord (enligt olika indelningssätt)

Utrustningar och förfaranden i överensstämmelse med SGFs standard har använts resp tillämpats, såvida ej annat angetts på ritning och i utlåtande

Sondering

Hf	hejarsond (t ex HfA resp HfB)
Jb	jord-bergsondering
Slb	slagborrmaskin
Sti	sticksond
Tr	trycksond
Vi	viktsond
Vim	viktsond, maskinell vridning

Provning in situ

Pm	pressometer
Pp	porttryckmätare
Vb	vingsond, vingborr

Provtagning

Fo	folieprovtagare
Grk	gruskannborr
Js	jalusiprovtagare
K	kannprovtagare
Kr	kärnprovtagare
Kv	kolvprovtagare
Ps	provtagningspets
Skr	skruvprovtagare
Sp	spadprovtagare

C	kontinuerligt (prov)
D	stört (prov)
U	ostört (prov)
y	ytligt (prov)
z	djupt (prov)

Speciella metoder

IkI	inklinometermätning
Pg	provgrop
Rf	rör med filter
Rt	rotationsborrning
Rö	öppet rör, foderrör
Se	seismik
Vfm	vattenförlustmätning

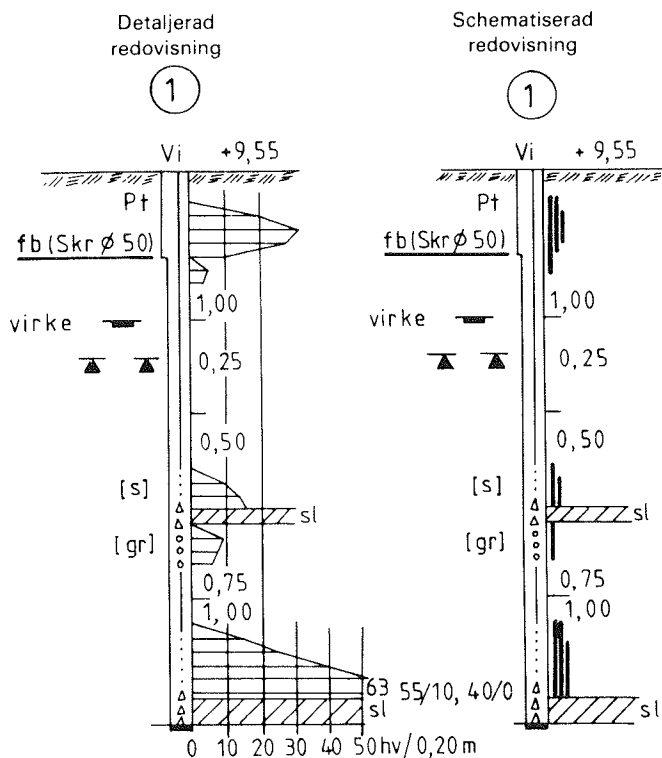
Övriga förkortningar

A	analys (speciell)
fb	förborrning, med t ex spad- eller skruvprovtagare
GW	grundvattennivå (-yta)
hv	halvvarv
sl	slagning eller stötning
uvr	utan vridning
vr	vridning
W	vattenyta
w	vattenkvot (tidigare -halt)
w _F	konflytgräns (finlekstal)
w _L	stötflytgräns
w _P	plasticetsgräns

BETECKNINGAR VID GEOTEKNISKA UNDERSÖKNINGAR REDOVISNING I PLAN OCH SEKTION SAMT FÖRKORTNINGAR

ENLIGT JORDARTSKOMMITÉN 1953

Viktsondering



Beteckningar över sonderingshål

- ① hålets nummer (samma som på plan)
- Vi använd metod (se Förkortningar på blad 3; flera metoder kan förekomma i samma undersökningspunkt)
- + 9,55 utgångsnivå för sondering

Beteckningar i sonderingshål

- koheisionsjord
 - sandig jord
 - grusig jord
 - förekomst av sten (sonden "hugger")
 - när beteckning saknas, har jordkaraktären ej bedömts
- Bedömt vid faltundersökning, främst med ledning av ljud i sondstängens under neddrivningen

Avslutning av sonderingshål, se blad 2

Detaljerad redovisning

Diagrammet anger antal halvvarv för att sonden skall sjunka 0,20 m (hv/0,20 m). Antalet är avsatt vid undre gränsen för varje 0,20 m sjunkning. Belastningen på sonden är då 1,00 kN. Där diagram saknas, sjunker sonden utan vridning för angiven belastning. De horisontala strecken i diagrammet kan vara utelämnade. Beteckningen 63 är exempel på de fall då antalet vridna halvvarv för 0,20 m sjunkning ej ryms inom den angivna skalan. 55/10 och 40/0 är exempel på antal halvvarv för mindre sjunkning än 0,20 m resp 0-sjunkning för 40 halvvarvs vridning.

Schematiserad redovisning

Vid schematiserad redovisning ersätts diagrammet av vertikala grova streck, varvid

- ett streck anger 1–10 hv/0,20 m sjunkning
- två streck anger 11–20 hv/0,20 m sjunkning
- tre streck anger >20 hv/0,20 m sjunkning

Beteckningar vid sidan av hålet

Siffror anger belastning på sonden i kN

Pt Torrskorpa av koheisionsjord

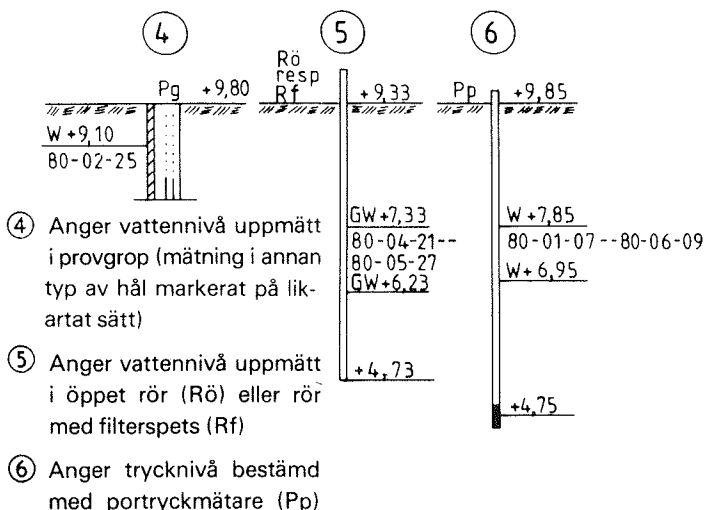
fb (Skr ϕ 50) Horisontalt grovt streck anger hur långt förborring (fb) gjorts. Skr ϕ 50 anger använt redskap och dess diameter i mm. Förborring är även markerad genom vidgning av sonderingshålet

— Flera sonderingsförsök har utförts ned till angiven nivå.
▲ Tecknen anger stopp mot lokalt hinder, nederst sten eller block, överst annat hinder (här: virke). Obs ett tecken för varje stopp

[s] Förkortning inom klammer är en extra förklaring av jordkaraktär (bedömd vid sonderingen)
(Jordartsförkortningar i övrigt, se blad 3)

/// sl Sonden har drivits ned med slag

Observation av (grund)vattennivå och portryckmätning



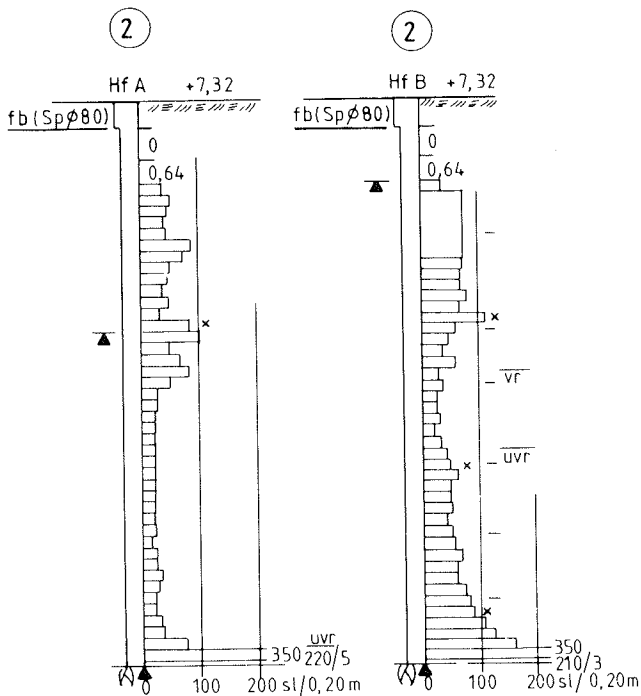
Högsta och lägsta uppmätta vattennivå (trycknivå) samt observationsperiod angivna

GW anger uppmätt grundvattennivå i öppen eller slutna akvifer

W anger andra vattennivåer resp portryck

Har inte (grund)vatten påträffats, har ordet "torrt" utsetts på lägsta kontrollerade nivå med angivande av observationsdatum såsom vid hål 4–6

Hejarsondering



Gemensamt gäller

Exemplen följer SGFs gällande standard, t v enligt högre kvalitetskrav (metod A) och t h enligt lägre krav (metod B). Exemplet visar två intilliggande sonderingshål enligt resp metod.

Diagrammen anger erforderligt antal slag för att sonden skall sjunka 0,20 m (sl/0,20 m). De horisontala linjerna kan i vissa fall vara utelämnade. Där diagram saknas, sjunker sonden utan (0) resp med hejaren (0,64 kN) som belastning.

Beteckningen 350 är exempel på de fall då antalet slag för 0,20 m sjunkning ej ryms inom den angivna skalan. 220/5 resp 210/3 anger att sonderingen avbrutits sedan 0,05 resp 0,03 m sjunkning erhållits. Övriga beteckningar förklaras under viktsondering. Jfr även blad 2 och 3.

Schematiserad redovisning

Diagrammen eller delar därav kan vara schematiserade såsom visas på exemplet HfB, övre delen. Härvid betyder en vertikal linje vid skalvärdet

5 sl/0,20 m	att sonden sjunker 0,20 m	för	1 – 10	slag
15 sl/0,20 m	"	"	11 – 20	"
35 sl/0,20 m	"	"	21 – 50	"
75 sl/0,20 m	"	"	51 – 100	"
100 sl/0,20 m	"	"	> 100	"

Speciella beteckningar

— anger skifte av killås och därmed samtidig vridning av sonden enligt standard. Gäller endast metod B.

X anger vid metod A längre uppehåll och vid metod B annat uppehåll än för skifte av killås och samtidig vridning.

vr anger att vridning enligt metod A utförts från den markerade nivån. Gäller endast metod B.

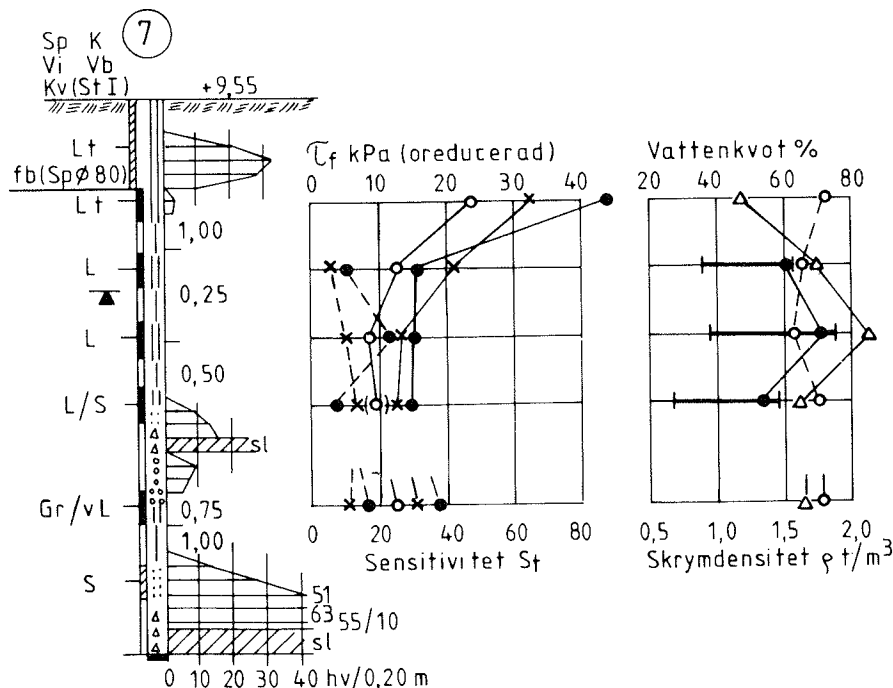
uvr anger att vridning enligt metod A ej utförts från den markerade nivån

Provtagning i jord

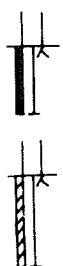
kombinerad med viktsondering och redovisning av provningsresultat

Stapeln t v om hålet anger provtagning, fylld stapeldel ostört prov, streckad stapeldel stört prov. Stapeldels längd motsvarar den totala upptagna provlängden. Horisontalt streck (vid stapeldel) markerar centrum av prov undersökt på laboratorium.

Beteckningar i hålet av jordarter anges dels som jordart bestämd på upptagna prover och markerade enligt blad 2, dels som jordart bedömd med ledning av viktsondering (hål ① på detta blad).



Provtagning i berg



Provtagning vid kärnbörning

Provtagning av borrhax

Observera att figurerna på detta blad är nedreproducerade, hål 4–6 till 80 % och övriga hål till 90 %

Gemensamt gäller

Övre delen av hålen (dubbla linjer) anger sondering i jord, undre delen (en linje) sondering i berg (bergnivån bedömd). Diagrammet anger sonderingsmotstånd uttryckt i sekunder för varje 0,20 m sjunkning (s/0,20 m) och är i exemplen begränsade till 100 s/0,20 m. Observera de grova vertikala strecken i diagrammen, varigenom jord-bergsondering kan skiljas från hejarsondering. De horisontala linjerna i den detaljerade redovisningen t v kan i vissa fall vara utelämnade.

Speciella förhållanden vid sonderingen är angivna, t ex nedsatt spolningstryck och stopp i spolkanal.

ir anger att sonderingsmotståndet ej registrerats.

Schematiserad redovisning

Diagrammet kan vara schematiserat såsom visas i exemplet t h. Härvid betyder en vertikal linje vid skalvärdet

5 s/0,20 m	att sonden sjunker 0,20 m under	0— 10 s
15 s/0,20 m	" " " " 0,20 m "	11— 20 s
35 s/0,20 m	" " " " 0,20 m "	21— 50 s
75 s/0,20 m	" " " " 0,20 m "	50— 100 s
100 s/0,20 m	" " " " 0,20 m "	> 100 s

Notering av sprickor och slag

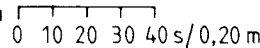
(t v om hålens nedre del mellan nivåmarkering på hållinjen)

- + ej märkbara sprickor; jämn sjunkning av sonden
- 0 sprickigt berg; märkbara sprickor (sonden "hugger")
- mycket sprickigt berg; sonden "hugger" hela tiden, svårigheter att vrida sonden
- slag i berget (öppet eller lerfyllt); i stort sett fri sjunkning av sonden; mått och nivå för slaget har noterats
- ib förekomst av sprickor eller slag har ej bedömts

Det bör observeras att någon säker bedömning av sprickigheten med ledning av enbart jord-bergsondering ej är möjlig.

Sondering med motordriven slagbormaskin (Slb)

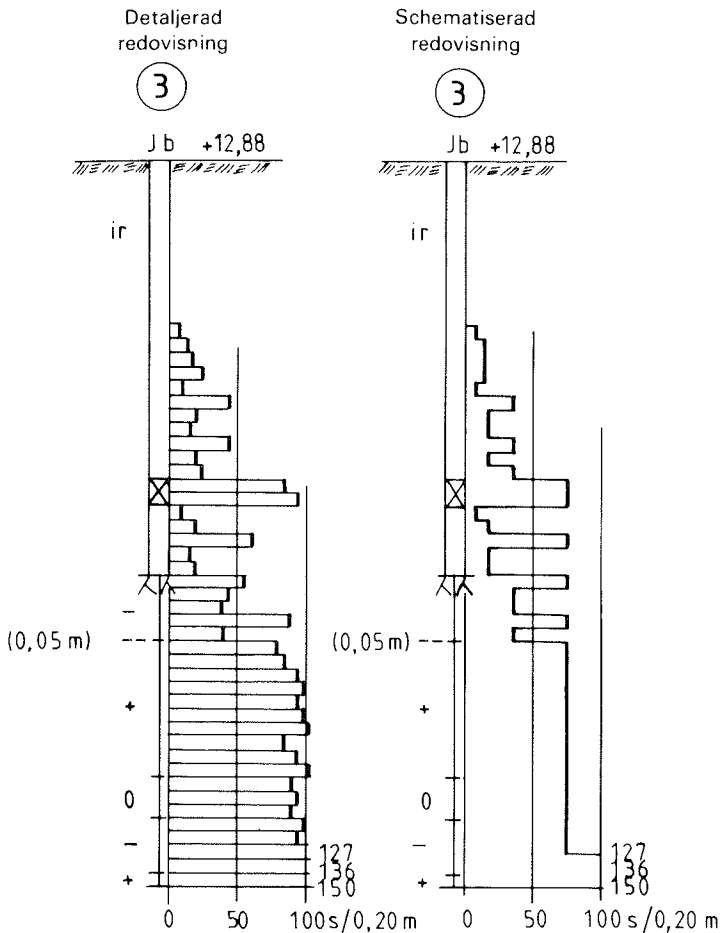
Diagrammen anger sonderingsmotståndet uttryckt i sekunder för varje 0,20 m sjunkning (s/0,20 m). Diagrammen är uppritade som vid jord-bergsondering, men de vertikala linjerna är ritade tunna som vid hejarsondering. Normalt förekommer vidstående skala



Vid *schematiserad redovisning* betyder en linje vid skalvärdet

3 s/0,20 m	att sonden sjunker 0,20 m under	0— 5 s
10 s/0,20 m	" " " " 0,20 m "	6— 15 s
20 s/0,20 m	" " " " 0,20 m "	16— 25 s
35 s/0,20 m	" " " " 0,20 m "	26— 50 s
50 s/0,20 m	" " " " 0,20 m "	> 50 s

Utrustningar och förfaranden i överensstämmelse med SGFs standard har använts resp tillämpats, såvida ej annat angetts på ritning och i utlåtande.



Beteckningar i

Skjuvhållfasthetsdiagram

- Skjuvhållfasthet (τ_f) enl konmetoden*
- Skjuvhållfasthet (τ_f) enl vingmetoden
- Skjuvhållfasthet (τ_f) enl tryckmetoden
- Sensitivitet (S_t) enl konmetoden
- Sensitivitet (S_t) enl vingmetoden

() Anger att värdet ej är helt representativt, tex på grund av viss störning av provet.

Vattenkvotsdiagram

- Naturlig vattenkvot (w) (vikt-% av torrsubstans)
- Konflytgräns (w_L)
- Stötflytgräns (w_P)
- Plasticitetsgräns (w_P) (utrullningsgräns)
- Skrymdensitet (q)

Anm
I undantagsfall kan diagram ersättas med siffror i tex tabellform.

*Utvärderad efter SGFs provisoriska rekommendationer till tolkning av fallkonprov (jan 1962).

BETECKNINGAR VID GEOTEKNISKA UNDERSÖKNINGAR

REDOVISNING I SEKTION AV SONDERING, PROVTAGNING, GRUNDVATTEN-OBSERVATION, VINGSONDERING I FÄLT OCH VISSA LABORATORIERESULTAT



Statens geotekniska institut
Swedish Geotechnical Institute

SE-581 93 Linköping, Sweden

Tel: 013-20 18 00, Int + 46 13 201800

Fax: 013-20 19 14, Int + 46 13 201914

E-mail: sgi@swedgeo.se Internet: www.swedgeo.se